

# **Analyse und Optimierung von Arbeitsabläufen und Arbeitsplatzanordnungen in der Trompetter Guss GmbH**

An der

Hochschule Mittweida (FH),

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften

eingereichte

# **Diplomarbeit**

vorgelegt von Eugen Weiss

geboren am 16. Dezember 1982 in Usun Agatsch

Mentor : Prof. Dr. rer. pol. Köbernik  
Zweitgutachter : Prof. Dr. Ing. Barthel

Mittweida, den 28.10.2009

---

## **Bibliografische Beschreibung**

Weiss, Eugen

Analyse und Optimierung von Arbeitsabläufen und Arbeitsplatzanordnungen in der Trompetter Guss GmbH.

Hochschule Mittweida, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit,  
Oktober 2009, 76 Seiten

## **Referat:**

Diese Diplomarbeit befasst sich mit der Thematik der optimalen Arbeitsplatzanordnung und ebenso mit der Arbeitsplatzgestaltung. Das Ergebnis soll darauf abzielen, einen homogenen Materialfluss in der Trompetter Guss GmbH zu erreichen. In der gegenwärtigen Situation sind weite Transportwege zu bewältigen. Des Weiteren sind die Kapazitäten zwischen den einzelnen Bearbeitungsstation nicht aufeinander abgestimmt, dies hat zur Folge, dass es zu wiederkehrenden Kapazitätsengpässen wie auch Maschinenstillständen führt. Zur Optimierung wird überprüft, inwiefern eine Neuüberarbeitung des Produktionslayout zur Verbesserung des Materialflusses beitragen kann. Außerdem werden Lösungen bzw. Alternativen zur Vermeidung von Kapazitätsengpässen und Maschinenstillständen beleuchtet.

# I. Inhaltsverzeichnis

<b>I.</b>	<b><i>Inhaltsverzeichnis</i></b>	<b>II</b>
<b>II.</b>	<b><i>Abbildungsverzeichnis</i></b>	<b>V</b>
<b>III.</b>	<b><i>Tabellenverzeichnis</i></b>	<b>VI</b>
<b>IV.</b>	<b><i>Formelverzeichnis</i></b>	<b>VIII</b>
<b>V.</b>	<b><i>Symbolverzeichnis</i></b>	<b>X</b>
<b>VI.</b>	<b><i>Abkürzungsverzeichnis</i></b>	<b>XI</b>
<b>1</b>	<b><i>Einleitung</i></b>	<b>1</b>
1.1	Die Trompetter Guss GmbH	1
1.2	Problemstellung	2
1.3	Ziel der Diplomarbeit	2
1.4	Methodisches Vorgehen	3
<b>2</b>	<b><i>MRP (Material Requirements Planning)-Konzept</i></b>	<b>6</b>
2.1	Materialbedarfsplanung (Material Requirements Planning)	7
2.2	Verbrauchsgesteuerte Materialdisposition	8
2.3	Termin- und Kapazitätsplanung	13
2.3.1	Durchlaufterminierung	13
2.3.1.1	Vorwärtsterminierung	15
2.3.1.2	Rückwärtsterminierung	16
2.3.2	Kapazitätsplanung und -steuerung	17
2.3.3	Kapazitätsterminierung	18
2.3.3.1	Ermittlung der Kapazitätsbelastung	19
2.3.3.2	Der Kapazitätsabgleich	19
2.3.3.2.1	Anpassung des Kapazitätsangebotes an den Kapazitätsbedarf	20
2.3.3.2.2	Anpassung der Kapazitätsbelastung an das Kapazitätsangebot	21
2.4	Auftragsfreigabe	23
2.5	Reihenfolgeplanung	24
2.5.1	Planungsansätze der Reihenfolgeplanung	25
2.5.2	Maschinenbelegungsplanung	28
2.5.3	Lösungsansätze zur Maschinenbelegung	29
2.5.3.1	Prioritätsregeln	30

2.5.3.2	SPT-Regel (Ein-Maschinen-Problem)	34
<b>3</b>	<b>Innerbetriebliche Standortplanung</b>	<b>35</b>
3.1	Ziele der innerbetrieblichen Standortplanung	35
3.2	Erscheinungsformen der innerbetrieblichen Standortplanung	36
3.3	Restriktionen der innerbetrieblichen Standortplanung	37
3.4	Lösungsansätze zur innerbetrieblichen Standortplanung	38
<b>4</b>	<b>Betrieblicher Ist-Zustand</b>	<b>41</b>
4.1	Bearbeitungsreihenfolge von Ausgleichswellengehäuse (Oberteile)	42
4.2	Technologischer Ablauf OT (Oberteile)	42
4.2.1	Strahlen	42
4.2.2	Putzen	43
4.2.3	Stanzen	43
4.2.4	Kontrolle	44
4.2.5	Rissprüfung (Fluxen)	44
4.3	Kapazitätsermittlungen	45
4.3.1	Strahlanlage	45
4.3.2	Putzerei	46
4.3.3	Stanze	47
4.3.4	Kontrolle	48
4.3.5	Rissprüfung (Fluxen)	49
4.4	Technologischer Ablauf UT (Unterteile)	51
4.4.1	Trommeln	51
4.4.2	Putzen	52
4.4.3	Kontrolle	52
<b>5</b>	<b>Lösungskonzept</b>	<b>53</b>
5.1	Maßnahmen zur Zielerreichung	53
5.1.1	Strahlanlage	53
5.1.1.1	Leistungsdaten Strahlanlage	53
5.1.1.2	Wartung/Reparaturen	56
5.1.2	Putzerei	57
5.1.3	Stanze	61
5.1.4	Kontrolle	62
5.1.5	Rissprüfung (Fluxen)	63
5.2	Produktionslayout	64



Inhaltsverzeichnis	IV
5.2.1 Arbeitsplatzanordnungen	65
5.2.2 Produktionslayout Neu	66
5.2.2.1 Putzerei	67
5.2.2.2 Kontrolle Oberteile	67
5.2.2.3 Kontrolle Unterteile	67
5.2.2.4 Rissprüfung	68
5.2.3 Fertigungsform	68
<b>5.3 Transportwegberechnung</b>	<b>69</b>
<b>6 Einschätzung und Bewertung</b>	<b>71</b>
<b>7 Ausblick</b>	<b>74</b>
<b>VII. Glossar</b>	<b>IX</b>
<b>VIII. Literaturverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>IX. Anlagenverzeichnis</b>	<b>XIV</b>
<b>X. Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>XXII</b>

## II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodisches Vorgehen.....	3
Abbildung 2: Entwicklung von MRP zu ERP.....	6
Abbildung 3: Cloosed Loop MRP .....	7
Abbildung 4: Grafische Darstellung von Zeitreihenkomponenten.....	12
Abbildung 5: Bedarfsverläufe und Prognoseverfahren .....	13
Abbildung 6: Bestandteile Durchlaufzeit.....	14
Abbildung 7: Zusammensetzung der Durchlaufzeit eines Arbeitsganges.....	14
Abbildung 8: Belastungsprofil einer Kapazitätseinheit.....	19
Abbildung 9: Maßnahmen des Kapazitätsabgleich.....	20
Abbildung 10: Möglichkeiten einer Kapazitätsanpassung und des Belastungsabgleichs .....	22
Abbildung 11: Planungsansätze der Reihenfolgeplanung .....	25
Abbildung 12: Lösungsansätze zur Realisierung einer Reihenfolgeplanung .....	29
Abbildung 13: Übersicht über Verfahren zur optimalen Zuordnung von Betriebseinheiten.....	38
Abbildung 14: Bearbeitungsreihenfolge von Ausgleichswellengehäuse .....	42
Abbildung 15: Leistungsschwankungen Strahlanlage .....	46
Abbildung 16: Leistungsschwankungen Strahlanlage .....	47
Abbildung 17: Leistungsschwankungen Stanze .....	48
Abbildung 18: Leistungsschwankungen Stanze .....	50
Abbildung 19: Kapazitätsvergleich .....	50
Abbildung 20: Prozessablauf UT .....	51
Abbildung 21: Transportwege alt und neu .....	66
Abbildung 22: Neues Produktionslayout der Abteilung „Putzerei“ .....	68

### III. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: RSU-Klassifizierung .....	8
Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Symbole in der Netzplantechnik.....	15
Tabelle 3: Formeln der Kapazitätsplanung.....	18
Tabelle 4: Symbole der Reihenfolgeplanung.....	26
Tabelle 5: Beispiel elementarer Prioritätsregeln .....	31
Tabelle 6: Wirksamkeit der elementaren Prioritätsregeln .....	32
Tabelle 7: Kombinierte Prioritätsregeln .....	33
Tabelle 8: Kosten der innerbetrieblichen Standortplanung.....	35
Tabelle 9: Gründe von Restriktionen .....	37
Tabelle 10: Kapazitätsermittlung Strahlanlage .....	45
Tabelle 11: Kapazitätsermittlung Putzerei .....	46
Tabelle 12: Kapazitätsermittlung Stanze .....	47
Tabelle 13: Kapazitätsermittlung Kontrolle .....	48
Tabelle 14: Kapazitätsermittlung Rissprüfung .....	49
Tabelle 15: Ist/Soll-Vergleich Strahlvorgänge Oberteile .....	53
Tabelle 16: Personalkosteneinsparung .....	54
Tabelle 17: Berechnung der Zeitersparnis pro Strahlvorgang .....	55
Tabelle 18: Kostenersparnis im Personalbereich .....	56
Tabelle 19: Ist-Leistung Putzerei .....	57
Tabelle 20: Ausfallzeiten Putzerei .....	57
Tabelle 21: Schichtplan/Arbeitszeit .....	57
Tabelle 22: Berechnung des Kostenaufwandes .....	58
Tabelle 23: Schichtplan neu .....	59
Tabelle 24: optimale Stückanzahl.....	59
Tabelle 25: Ausbringungsmenge Putzerei.....	60
Tabelle 26: Ausbringungsmenge Alt-Neu .....	60
Tabelle 27: Soll/Ist-Kapazitätsvergleich Stanzvorrichtung .....	61
Tabelle 28: Soll/Ist-Vergleich Kontrolle.....	62
Tabelle 29: Soll/Ist-Kapazität Rissprüfung (Fluxen).....	64
Tabelle 30: Transportwegvergleich alt gegen neu .....	69
Tabelle 31: Transportweghochrechnung .....	69

---

Tabelle 32: Umschlagshäufigkeit der Bearbeitungsstationen .....	70
Tabelle 33: Vergleich Ist/Soll-Strahlvorgänge Oberteile mit Beachtung von Ausschüssen .....	71

## IV. Formelverzeichnis

Gleichung 1: Additive Verknüpfung

$$Y = T + Z + S + I \dots\dots\dots 10$$

Gleichung 2: Multiplikative Verknüpfung

$$Y = T + Z + S + I \dots\dots\dots 10$$

Gleichung 3: Frühestmöglicher Endzeitpunkt des Arbeitsgangs j:

$$FEZj = FAZj + dj \dots\dots\dots 16$$

Gleichung 4: Frühestmöglicher Anfangszeitpunkt des Arbeitsgangs j:

$$FAZj = \max_{v \in Vj} FEZv + dvj \dots\dots\dots 16$$

Gleichung 5: Spätestzulässiger Anfangszeitpunkt des Arbeitsgangs j:

$$SAZj = SEZj - dj \dots\dots\dots 16$$

Gleichung 6: Spätestzulässiger Endzeitpunkt des Arbeitsgangs j:

$$SEZj = \min_{v \in Vj} SAZv + djv \dots\dots\dots 16$$

Gleichung 7: Gesamte Pufferzeit:

$$GPj = SAZj - FAZj = SEZj - FEZj \dots\dots\dots 16$$

Gleichung 8: Freie Pufferzeit:

$$FPj = \min_{i \in Nj} (FAZi - FAZj + Zji) \dots\dots\dots 17$$

Gleichung 9: Bedingte Pufferzeit:

$$BPj = GPj - FPj \dots\dots\dots 17$$

Gleichung 10: Unabhängige Pufferzeit:

$$UPj = \max(0, BPj) \dots\dots\dots 17$$

Gleichung 11: Kapazitätsauslastung :

$$in \% = \frac{\text{benötigte Kapazität} \cdot 100}{\text{vorhandene Kapazität}} \dots\dots\dots 18$$

Gleichung 12: Rüstanteil:

$$in \% = \frac{\text{gesamte Rüstzeit der Anlagen} \cdot 100}{\text{gesamte Kapazität der Anlagen}} \dots\dots\dots 18$$

Gleichung 13: Leistungsgrad:

$$in \% = \frac{\text{Beobachtete Ist-Leistung}}{\text{vorgestellte Bezugsleistung}} \cdot 100 \dots\dots\dots 18$$

Gleichung 14: Durchlaufzeit des Auftrages n:

$$dn := m = 1M(pnm + wnm) \dots\dots\dots 26$$

Gleichung 15: Gesamtdurchlaufzeit:

$$D := n = 1Ndn = n = 1Nm = 1M(pnm + wnm) \dots\dots\dots 27$$

Gleichung 16:Gesamtwartezeit:

$$W := n = 1Nm = 1Mwnm \dots\dots\dots 27$$

Gleichung 17: Maximierung der maximalen Durchlaufzeit:

$$Dmax := 1Mpnm + wnm \dots\dots\dots 27$$

Gleichung 18: Minimierung der ablaufbedingten Gesamtleerzeit:

$$L := n = 1Nm = 1Mlnm \dots\dots\dots 27$$

Gleichung 19: Minimierung der gesamten Terminüberschreitungszeit:

$$L := n = 1Nmax\{0, dn - Sn\} \dots\dots\dots 27$$

Gleichung 20: Permutation:

$$m! \dots\dots\dots 29$$

Gleichung 21: Kombination:

$$m! n \dots\dots\dots 29$$

Gleichung 22: SPT-Regel:

$$SPT = p \dots\dots\dots 34$$

Gleichung 23: Transportwegberechnung:

$$Transportweg Alt - Transportweg Neu = Transportweg neu \dots\dots\dots 69$$

Gleichung 24: Umschlaghäufigkeit:

$$= \frac{\text{Leistungsgrad in Stück}}{\text{Schicht/MA}} \div \text{Ø Gitterboxbestand} \dots\dots\dots 70$$

## V. Symbolverzeichnis

B.....	Belastungsprofil
BP.....	bedingte Pufferzeit
D.....	Durchlaufzeit
d.....	Dauer des Arbeitsgangs
FAZ.....	frühestmöglicher Anfangszeitpunkt
FEZ.....	frühestmöglicher Endzeitpunkt
FP.....	freie Pufferzeit
GP.....	gesamte Pufferzeit
I.....	irreguläre Komponente
j.....	Arbeitsgang
K.....	Normalkapazität
L.....	Gesamt leerzeit
l.....	ablaufbedingte Leerzeit
M.....	Anzahl der vorhandenen Maschinen
m.....	Zahl der Aufträge
N.....	Anzahl der vorliegenden Aufträge
n.....	Anzahl der Maschinen
p.....	Bearbeitungszeit
S.....	Saisonkomponente
SAZ.....	spätestzulässiger Anfangszeitpunkt
SEZ.....	spätestzulässiger Endzeitpunkt
S <sub>n</sub> .....	Endtermin bzw. Fertigstellungstermin von einem Auftrag
T.....	Trend
t.....	Zeitpunkt
UP.....	unabhängige Pufferzeit
V.....	Indexmenge der direkten Vorgänger
w.....	Wartezeit
Z.....	zyklische bzw. konjunkturelle Komponente
€.....	Euro
Σ.....	Summe

## VI. Abkürzungsverzeichnis

AWG.....	Ausgleichswellengehäuse
bzw.....	beziehungsweise
d. h.....	das heißt
EED.....	Earliest Due Date
ERP.....	Enterprise Resource Planing
FAT.....	frühester Anfangstermin
FFT.....	frühster Fertigstellungstermin
FiFo.....	First in-First out
GB.....	Gitterbox
GL.....	Gleichung
GmbH.....	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
KOZ.....	kürzeste Operationszeit
KRB.....	kürzeste Restbearbeitungszeit
KW.....	Kalenderwoche
LOZ.....	längste Operationszeit
MA.....	Mitarbeiter
Min.....	Minuten
MRP.....	Material Requirements Planning
MRP II.....	Manufacturing Resources Planning
OT.....	Oberteile
SPT.....	Shortest Processing Termin
Stck.....	Stück
Std.....	Stunden
SZ.....	Schlupfzeit
u. a.....	unter anderem, und andere
UT.....	Unterteile
Vgl.....	Vergleich
WT.....	Wert
z. B.....	zum Beispiel
ZUF.....	Zufallszahl



# 1 Einleitung

## 1.1 Die Trompetter Guss GmbH

Die Trompetter Guss Chemnitz GmbH, auch unter dem Namen Schönherr Metallverarbeitung GmbH bekannt, wurde im Jahr 2000 durch die Trompetter Verwaltungs GmbH aufgekauft und in „Trompetter Guss Chemnitz“ umbenannt. Es handelt sich um ein 100 Prozent eigenständiges Unternehmen mit eigenen Lieferanten und Kunden. Zum Zeitpunkt der Übernahme betrug die Anzahl der Belegschaft ca. 100 Mitarbeiter. Heute werden 236 Mitarbeiter in der Produktion und in der Verwaltung beschäftigt. Aufgrund des stetigen Wachstums durch die Erhöhung von Kundenaufträgen und die daraus resultierende Nachfrage wird zu der bereits vorhandenen Gießereianlage eine neue hinzukommen; Hierfür werden zusätzlich ca. 150 Mitarbeiter benötigt. Die Trompetter Guss Chemnitz GmbH gießt aus qualitativ hochwertigen Materialien Grau- und Sphäroguss. Für folgende Einsatzbereiche werden die Produkte produziert bzw. gegossen:

- Allg. Maschinenbau,
- Nutzfahrzeuge,
- Armaturenguss,
- Hydraulikguss.

Im Moment befinden sich ca. 200 Produkte im Portfolio der Trompetter Guss GmbH. Der Gesamtumsatz wird dabei zu 75 % durch acht Hauptkunden erwirtschaftet. Der größte Teil der Produktion wird hauptsächlich für die Belieferung der Automobilindustrie verwendet. Es zählen unter anderem auch namhafte Hersteller wie der größte Automobilhersteller Europas, VW AG, sowie der weltweit führende Hersteller von Bremssystemen für Schienen- und Nutzfahrzeuge, Knorr, zu den Kunden.

Langfristig will das Unternehmen nicht nur als Zulieferer für die Automobilindustrie fungieren. Das Ziel wird es sein, das Produktionsprogramm auf andere Bereiche auszudehnen, um einen möglichen Nachfragemangel bzw. Produktionsschwund, durch die Automobilindustrie, anderweitig kompensieren zu können bzw. diesem entgegenzuwirken.

## 1.2 Problemstellung

Die Firma Trompetter Guss Chemnitz GmbH produziert u. a. Ausgleichswellengehäuse (AWG). Dabei liegt die derzeitige Jahresproduktion bei ca. 750.000 Stück. Wegen der steigenden Nachfrage soll die Jahresproduktion auf ca. 1.000.000 Stück erweitert werden. Die Abteilung „Putzerei“ ist für die Verarbeitung von AWG zuständig. Alle Arbeitsvorgänge beginnen an der Arbeitsstation der Strahlanlage (siehe Kapitel 4.2). Dies ist der Ausgangspunkt für die anderen Arbeitsvorgänge der AWG. Die Problematik bei der Trompetter Guss Chemnitz GmbH ist folgende: Zwei Großaufträge durchlaufen täglich die jeweilige Station. Wie schon oben erwähnt, bildet die Strahlanlage den Start des Prozederes. Die tatsächlich zur Verfügung stehende Kapazität der Maschine beträgt ca. 4-5 Stunden/Schicht. Für die Erfüllung beider Aufträge ist eine Kapazität von ca. 6-7 Stunden/Schicht notwendig. Durch die hohe Anzahl der zu bearbeitenden Stückzahlen und die daraus resultierende Überlastung der Maschinen treten Kapazitätsengpässe wie auch Stillstände an darauf folgenden Maschinen wie auch am vorhandenen Personal auf. Die Verkürzung der Strahlzeiten führte zu keiner Besserung. Die Qualität der Gussstücke verschlechterte sich dadurch, infolgedessen wurde eine Nachbesserung notwendig. Dieses hat zur Folge, dass sich die Durchlaufzeiten extrem ausweiten und somit die Auftragserfüllung nicht mehr gegeben ist. Die Konsequenz sind unzufriedene Kunden und im Extremfall Konventionalstrafen.

## 1.3 Ziel der Diplomarbeit

Es ist das Ziel, eine Optimierung der einzelnen Arbeitsgänge mit Schnittstellen zum Gesamtprozess zu erreichen. Dazu ist es obsolet, die optimale Auslastung durch die Erarbeitung der Vorgabezeiten pro Artikel und Arbeitsgang zur Kapazitätsberechnung für Mensch und Betriebsmittel zu ermitteln. Ebenso müssen die optimale Auslastung für die Anzahl der Arbeitsplätze und der Lagerflächen recherchiert sowie das Werkstattlayout neu konzipiert werden.

Es soll unter anderem geprüft werden, ob eine Kombination von Arbeitsgängen durch Verkettung Reduzierung von Transport-, Umschlag- und Lagerkapazitäten möglich ist.



Diese hier verfasste Abhandlung strukturiert sich, wie in Abbildung 1 visualisiert. Der theoretische Teil dokumentiert die Grundlagen für das Verständnis der Arbeit.

Der erste Abschnitt behandelt die Materialbedarfsplanung; in diesem Kontext wird spezifisch auf die verbrauchsgesteuerte Materialdisposition reflektiert. Es gilt, die unterschiedlichen Bedarfsverläufe in einem Industrieunternehmen eingehend zu erläutern. Die Materialbedarfsplanung stellt die Weichen für den nächsten Punkt: die Termin- und Kapazitätsplanung. Erst wenn der Materialbedarf festgelegt ist, lassen sich die nachfolgenden Termine und Kapazitäten generieren. Für das Abhandeln der Terminplanung fungiert die Durchlaufterminierung als wichtiger Schritt, denn in ihr werden die Start- und Endtermine der Arbeitsvorgänge fixiert und koordiniert.

Die Kapazitätsplanung benötigt hingegen eine Kapazitätsterminierung, welche sich ebenfalls an die Durchlaufterminierung anschließt. Es wird jetzt ein Vergleich zwischen den existierenden Maschinen- und Personalkapazitäten sowie den anvisierten Bedarfsmengen gezogen, sodass eine Abstimmung zwischen Ist- und Sollkapazität stattfindet.

Nachdem in den vorherigen Segmenten die Termine und Kapazitäten formuliert wurden, muss jetzt die Reihenfolge konstituiert werden, welche Aufträge an welchen Maschinen zu bearbeiten sind.

Der zweite theoretische Part befasst sich mit der innerbetrieblichen Layoutgestaltung. Sie dient in erster Linie zur Rahmenplanung für die Implementierung neuer Prozesstechnologien sowie der Konzeption maschineller Anlagen; zusätzlich widmet sie sich noch einmal der Kapazitätsplanung. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, eventuell begrenzt zur Verfügung stehende Flächen so anzuordnen, dass unterschiedliche Zielsetzungen optimal erfüllt werden können.

Das 4. Kapitel wendet das theoretisch erlangte Wissen auf die Praxis in der Trompetter Guss GmbH an. Es werden vor allem die einzelnen Kapazitäten der unterschiedlichen Bearbeitungsstationen ausführlich analysiert. Die Bearbeitungsstationen subsumieren sich aus den Bereichen „Strahlanlage, Putzen, Stanzen, Kontrolle und Rissprüfung“. Es werden vornehmlich im Rahmen der Ausgleichswellengehäuse die Oberteile inspiziert und deren technologischer Durchlauf beschrieben. In diesem Abschnitt offenbaren sich bereits Schwachstellen bzw. Engpässe in der Produktion.

Der 5. Punkt vergleicht die Ist-Daten aus dem vorangegangenen Kapitel mit den Zieldaten. Es werden zu allen fünf Bearbeitungsstationen Lösungskonzepte zur

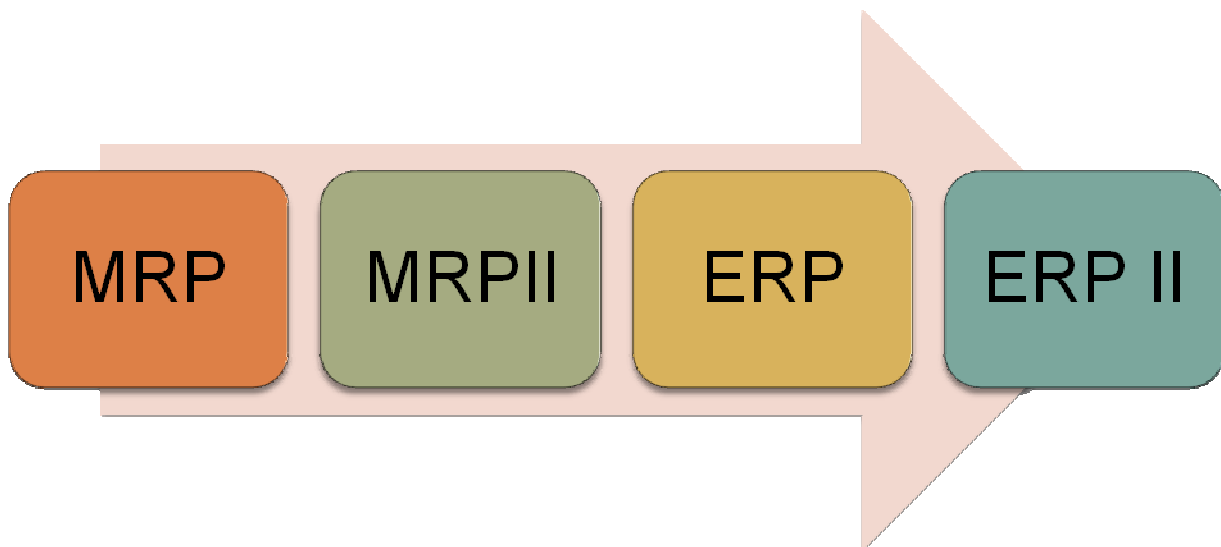
Kosten- und Zeiteinsparung herausgefiltert. Auf diese Weise soll ein optimaler Materialfluss geschaffen werden.

Die Herauskristallisierung eines neuen Produktionslayouts im Bereich „Putzerei“ (Oberteile) erzeugt die Verbindung zum bereits erwähnten theoretischen Teil. Dieses Layout soll die Transportwege und -zeiten verkürzen sowie eine strukturiertere Arbeitsumgebung extrahieren.

Im letzten Punkt werden die einzelnen Optimierungsvarianten konträr betrachtet und bewertet, sodass ein zukünftiger Lösungsansatz für das Unternehmen entnommen werden kann.

## 2 MRP (Material Requirements Planning)-Konzept

Das MRP-Konzept ist ein Teil des klassischen Produktionsplanungs- und -steuerungssystems. Zu den wesentlichen Merkmalen des MRP gehören die Bedarfsermittlung, Beschaffung, Lagerung sowie die Bereitstellung von Rohstoffen.<sup>1</sup> Dabei besteht die Hauptaufgabe darin, den Materialbedarf auf den gesamten Stufen der Beschaffung sowie der Fertigung zu planen.<sup>2</sup> Eine Weiterentwicklung des MRP zu Closed Loop MRP realisierte die Ergänzung um die Kapazitätsplanung sowie die Produktionsprogrammplanung. Ein hierarchisches, rückwärtsterminierte Sukzessivplanungskonzept bildet die Grundlage des MRP. Die Aufgabenbereiche der Produktionsplanung und -steuerung werden dabei schrittweise abgearbeitet, d. h., die betrachteten Planungsprobleme werden in einzelne Teilprobleme angeordnet.<sup>3</sup> Innerhalb dieser Teilebenen werden Module kreiert, die für die Mengenplanung, Durchlaufterminierung, Maschinenbelegung etc. zuständig und verantwortlich zeichnen. Eine Rückkopplung zu der nächstübergeordneten Ebene ist nur dann zulässig, wenn sich eine Vorgabe nicht verwirklichen lässt. Die Einlastung der Aufträge wird unter Zuhilfenahme von Prioritätsregeln initialisiert.<sup>4</sup>



**Abbildung 2:** Entwicklung von MRP zu ERP

---

<sup>1</sup> Vgl. (Buer, 2003 S. 57ff)

<sup>2</sup> Vgl. (Kurbel, 2005 S. 106)

<sup>3</sup> Vgl. (Zelewski, et al., 2008 S. 227)

<sup>4</sup> Vgl. (Luczak, 2001 S. 65)

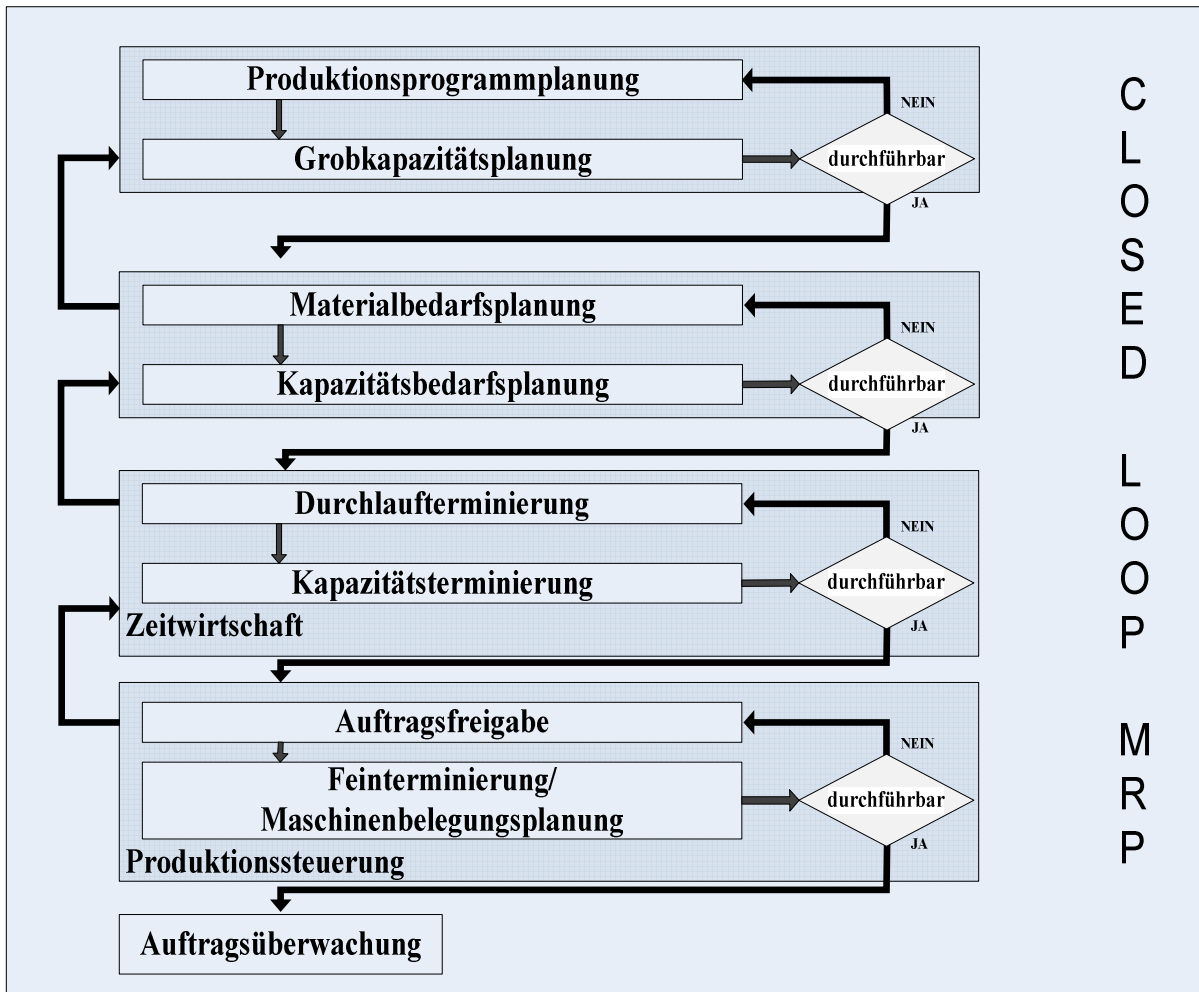


Abbildung 3: Closed Loop MRP

## 2.1 Materialbedarfsplanung (Material Requirements Planning)

Ein im Planungszeitraum ermittelter termin- und mengenmäßig festgelegter Netto-Primärbedarf der Produktionsprogrammplanung dient als Ausgangspunkt für die Materialbedarfsplanung. Der Primärbedarf richtet sich dabei auf einzelne Perioden an Endprodukten aus.<sup>5</sup> „Die Materialbedarfsplanung hat die Aufgabe, den Materialbedarf nach Art und Menge je Erzeugniseinheit zu bestimmen.“<sup>6</sup> Dazu lassen sich grundsätzlich zwei Methoden im Rahmen der Bedarfsermittlung unterscheiden: die verbrauchsgesteuerte Materialdisposition und die bedarfsgesteuerte Materialdisposition.

<sup>5</sup> Vgl. (Kiener, et al., 2006 S. 183)

<sup>6</sup> Vgl. (Wiendahl, 2005 S. 281)

## 2.2 Verbrauchsgesteuerte Materialdisposition

Die verbrauchsgesteuerte Materialdisposition bezieht sich auf den Materialverbrauch, welcher in den vergangenen Perioden getätigt worden ist. Es ist ein statisches Vorhersage- bzw. Prognoseverfahren. Die Voraussetzung ist eine Vorratshaltung zum Ausgleich stochastisch auftretender Bedarfsschwankungen.<sup>7</sup> Dabei handelt es sich um ein weniger aufwendiges Verfahren, dementsprechend muss mit Ungenauigkeiten gerechnet werden. Aus diesem Grunde eignet sich die verbrauchsgesteuerte Disposition im C-Teile-Management.<sup>8</sup>

### RSU-Analyse

Die RSU-Analyse ist eine Methode zur Gliederung des Materials.<sup>9</sup> Es erfolgt eine Systematisierung der einzelnen Materialarten aufgrund der jeweiligen Verbrauchsverläufe. Die RSU-Analyse klassifiziert die Güter in:

Güterklassifizierung	Bedeutung	Disposition
R-Güter	stetiger Verbrauch, weitgehend regelmäßiger Bedarf mit hoher Prognosegenauigkeit; gelegentliche Schwankungen um ein konstantes Niveau	Bedarfssynchrone Beschaffung (Just-in-time) 50-60 % aller Artikel
S-Güter	Halbstetiger Verbrauch, saisonal schwankender Bedarf mit mittlerer Vorhersagegenauigkeit; trendförmig steigend oder fallend	Lagerhaltung bzw. Vorratshaltung 10-20 % aller Artikel
U-Güter	stochastischer Verbrauch, unregelmäßiger Bedarf mit sehr niedriger Vorhersagegenauigkeit; stark schwankend	Fallweise Beschaffung bzw. Einzelbeschaffung 20-30 % aller Artikel

**Tabelle 1:** RSU-Klassifizierung<sup>10</sup>

<sup>7</sup> Vgl. (Adam, 1998 S. 509 ff.)

<sup>8</sup> Vgl. (Kurbel, 1998 S. 126)

<sup>9</sup> Vgl. (Schulte, 2001, S. 77)

<sup>10</sup> Vgl. (Anger, 2009, S. 214)



Die RSU-Analyse agiert als Entscheidungsträger zur Bestimmung des Materialbereitstellungsverfahrens. Sie schafft die Entscheidungsgrundlage für einzelne Materialien und beschließt, inwiefern eine bedarfssynchrone Beschaffung, Einzelbeschaffung oder Lagerhaltung notwendig ist.<sup>11</sup> Die bedarfssynchrone Beschaffung versucht, durch den Verzicht der Lagerhaltung Kosten zu sparen (Kapitalbindung und Lagerung). Das bewirkt jedoch eine Abhängigkeit des Betriebes gegenüber dem Lieferanten und dependiert dementsprechend von der Zuverlässigkeit bezüglich der auftragsentsprechenden Lieferungen. Sollte es dennoch zum Ausbleiben von Lieferungen kommen, so werden, zur Vermeidung der Gefahr zur kostenintensiven Unterbrechung der Leistungserstellung, sehr oft Sicherheitsbestände bzw. Sicherheitspuffer unterhalten. Eine bedarfssynchrone Beschaffung verlangt deshalb eine gründliche Planung der Leistungserstellung. Die fallweise Beschaffung bzw. Beschaffung im Bedarfsfall ist dadurch charakterisiert, dass die zur Produktion notwendigen Güter gesondert und erst zum Zeitpunkt aufgebracht werden, nach dem der entsprechende Bedarf sicher sowie aktuell ist. Der Nachteil bei diesem Vorgehen ist allerdings, dass es einen erheblichen zeitlichen Verzug in der Leistungserstellung verursachen kann und somit die Terminplanung erschwert. Der Vorteil dieser Art der Beschaffung ist, es werden nur die für die Produktion tatsächlich benötigten Güter beschafft, und infolgedessen entstehen bestenfalls mäßige Lagerungskosten sowie die Gefahr einer Veralterung der Güter.<sup>12</sup> Bei der Vorratshaltung werden im Gegensatz zu einer bedarfssynchronen Beschaffung die benötigten Materialien bzw. Mengen auf Vorrat organisiert. Dabei sind die erforderlichen Mengen, die für die Produktion notwendig sind, höher als die zu beschaffenden Mengen. Die Absicht der Vorratshaltung ist es, die Unterbrechungen in der Produktion zu vermeiden, und sie übt dementsprechend eine Sicherheitsfunktion aus. Die Nachteile einer Vorratshaltung sind hohe Kapitalbindung, hohe Zinskosten sowie hohe Lagerungskosten etc.<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> Vgl. (Schneider, Buzacott, & Rücker, 2004, S. 77-78)

<sup>12</sup> Vgl. (Peters, Brühl, & Stelling, 2005, S. 111-112)

<sup>13</sup> Vgl. (Brandenburg, 2008, S. 563)

## RSU-Analyse mittels Zeitreihenanalyse

### *Zeitreihenanalyse*

Die Zeitreihenanalyse gibt an, wie sich ein Merkmal über einen längeren Zeitraum bzw. bestimmten Zeitpunkten entwickelt.<sup>14</sup>

#### *Die Komponenten einer Zeitreihe<sup>15</sup>*

- (1) Der Trend T: Er drückt die tendenzielle Entwicklung einer veränderlichen Größe aus.
- (2) Die zyklische bzw. konjunkturelle Komponente Z: Charakteristisch für sie sind mittel- bis langfristige konjunkturelle Schwankungen.
- (3) Die Saisonkomponente S: Bezeichnend für die saisonale Komponente sind kurzfristige saisonale Schwankungen, welche jedoch kürzere Zyklen als die Komponente Z aufweisen.
- (4) Die irreguläre Komponente I: Sie ist gekennzeichnet durch Zufallsschwankungen, die durch keine der o. g. Komponenten erklärt werden können.

#### *Ziele der Zeitreihenanalyse*

Die Aufgabe der Zeitreihenanalyse besteht darin, bestimmte bzw. gewisse Gesetzmäßigkeiten der beobachteten Komponenten herauszukristallisieren, um zukünftige Prognosen treffen zu können.

#### *Verknüpfungen der Komponenten*

Die einzelnen Komponenten einer Zeitreihe können in unterschiedlicher Weise miteinander verknüpft sein.

- a) additive Verknüpfung

$$Y = T + Z + S + I \quad (\text{GL}) 1$$

- b) multiplikative Verknüpfung

$$Y = T \cdot Z \cdot S \cdot I \quad (\text{GL}) 2$$

---

<sup>14</sup> Vgl. (Holland, 2006 S. 79 ff.)

<sup>15</sup> Vgl. (Breyer)

### *Materialverbrauchsverläufe*<sup>16</sup>

Die Materialverbrauchsverläufe lassen sich wie folgt differenzieren:

1. konstanter Bedarfsverlauf
2. trendförmiger Bedarfsverlauf
3. saisonal schwankender Bedarfsverlauf
4. trendsaisonaler Bedarfsverlauf

Ein weiterer Materialverbrauchsverlauf, der erwähnenswert erscheint, ist der unregelmäßige Bedarfsverlauf, bei dem keine Regelmäßigkeiten zu erkennen sind.

#### ○ *Konstanter Bedarfsverlauf*

Ein konstanter Bedarfsverlauf ist dadurch charakterisiert, dass die Bedarfsverläufe über einen längeren Zeitpunkt um ein konstantes Verbrauchsniveau schwanken. Die Schwankungen werden durch Unregelmäßigkeiten sowie durch unvorhergesehene Einflüsse bestimmt.

#### ○ *Trendförmiger Bedarfsverlauf*

Ein trendförmiger Bedarfsverlauf ist dadurch charakterisiert, dass die Verbrauchsmengen über einen längeren Zeitraum um einen Mittelwert, welcher linear bzw. nicht linear fällt oder steigt, schwanken. Sollte der Materialverbrauch linear steigen bzw. fallen, dann dreht es sich um einen linearen Trend. Bei einem steigenden bzw. fallenden Materialverbrauch, der nicht linear verläuft, spricht man von einem trendförmig nicht linearen Verlauf.

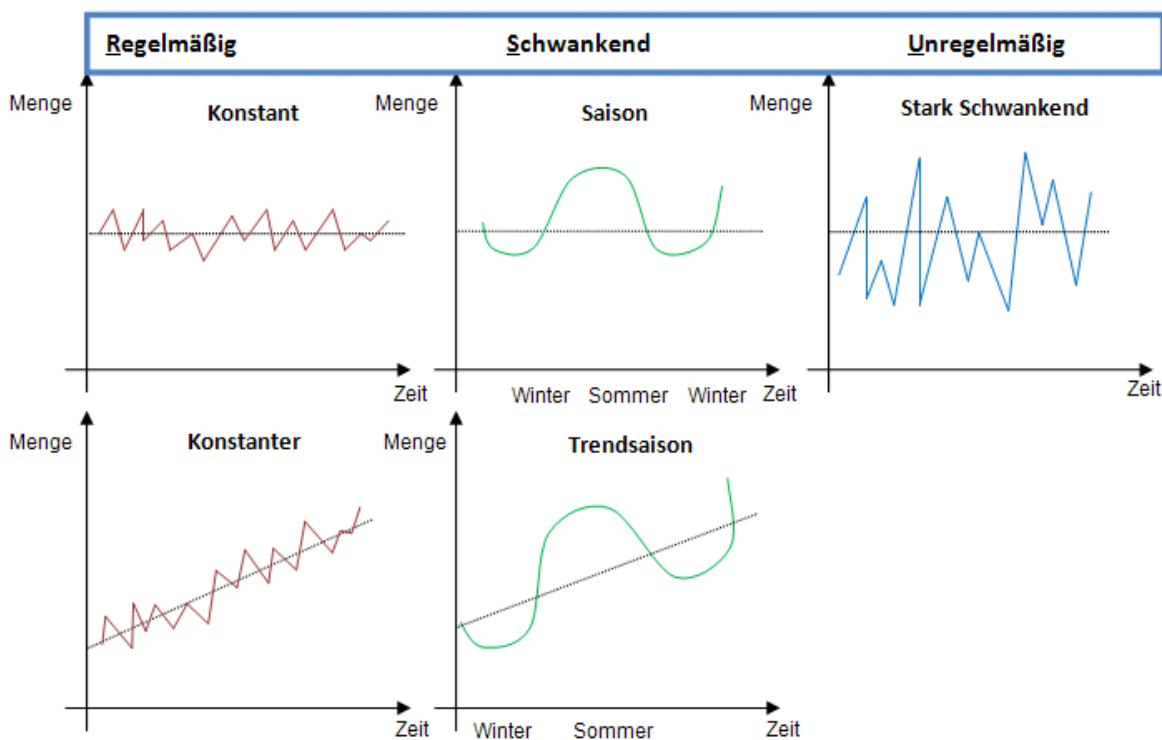
#### ○ *Saisonaler/trendsaisonaler Bedarfsverlauf*

Ein saisonaler Bedarfsverlauf ist durch saisonbedingte wiederkehrende Schwankungen geprägt. Ein trendsaisonaler Bedarfsverlauf ist die Kombination eines saisonalen und eines trendförmigen Bedarfsverlaufs.

---

<sup>16</sup> (Schulte, 2001 S. 141 ff.)

### Grafische Darstellung von Zeitreihenkomponenten<sup>17</sup>



**Abbildung 4:** Grafische Darstellung von Zeitreihenkomponenten

### Prognoseverfahren

Im Folgenden werden die Prognoseverfahren zur Ermittlung der Materialverbrauchsverläufe aufgezeigt. Die Abbildung 5 verschafft eine Übersicht über die gängigsten Prognoseverfahren. Die Verfahren der Mittelwertwertrechnung wie auch die exponentielle Glättung 1. Ordnung lassen sich hauptsächlich für konstante Bedarfsverläufe anwenden, während die Regressionsrechnung und die exponentielle Glättung 2. Ordnung den trendmäßigen Bedarfsverlauf in Erwägung zieht.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> In Anlehnung an (Köbernik)

<sup>18</sup> Vgl. (Steven, 2008 S. 57)

Bedarfsverlauf	Prognoseverfahren
<b>Konstant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Arithmetisches Mittel</li> <li>○ Gleitender Durchschnitt</li> <li>○ Exponentielle Glättung 1. Ordnung</li> </ul>
<b>Konstanter Trend</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Linearer Regression</li> <li>○ Exponentielle Glättung 2. Ordnung</li> <li>○ Verfahren von Holt</li> </ul>
<b>Saison/Trendsaison</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Analyse der Zeitreihe <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Multiplikativ</li> <li>▪ Additiv</li> </ul> </li> </ul>

**Abbildung 5:** Bedarfsverläufe und Prognoseverfahren<sup>19</sup>

## 2.3 Termin- und Kapazitätsplanung

Nachdem in der Materialbedarfsplanung die Art und Menge der Bedarfsmenge ermittelt wurde, folgt im Anschluss darauf die Termin- und Kapazitätsplanung. Dabei wird der jeweilige Auftragsfluss durch die Werkstatt betrachtet, d. h., es werden die Start- und Endtermine der einzelnen Arbeitsvorgänge für die geplanten Fertigungsaufträge errechnet. Für die Abwicklung der Termin- und Kapazitätsplanung sind zwei Schritte erforderlich, nämlich die Durchlauf- und Kapazitätsterminierung.<sup>20</sup>

### 2.3.1 Durchlaufterminierung

Bei einer Durchlaufterminierung geschieht die grobe Festlegung von Start- und Endterminen der Arbeitsvorgänge sowie die Koordination von geplanten Fertigungsaufträgen ohne die Berücksichtigung von Kapazitätsrestriktionen. Das zentrale Instrument konzentriert sich dabei auf die Arbeitsplatzdurchlaufzeit (Durchlaufzeit).

Die Arbeitsplatzdurchlaufzeit ist markiert durch „die Zeitspanne zwischen dem Ende der Bearbeitung auf dem Vorgängerplatz und dem Ende der Bearbeitung auf dem betrachteten Arbeitsplatz“. Sie fügt sich aus mehreren Komponenten zusammen: der Liegezeit, der Transportzeit, Rüstzeit sowie der Bearbeitungszeit.<sup>21</sup>

<sup>19</sup> In Anlehnung an (Köbernik)

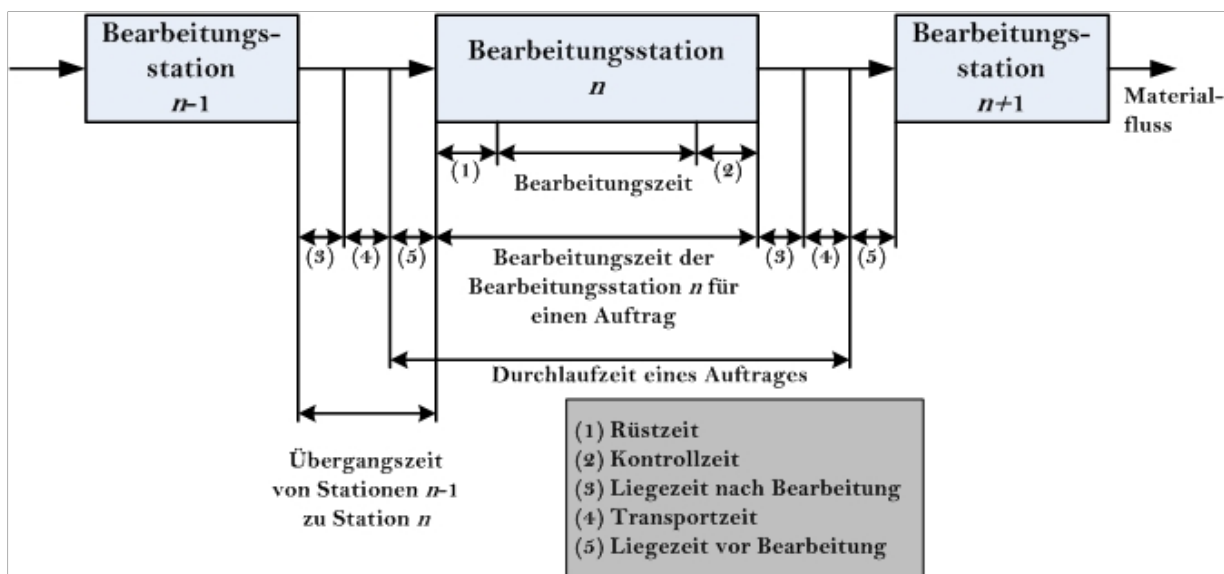
<sup>20</sup> Vgl. (Vahrenkamp, 1998 S. 150)

<sup>21</sup> Vgl. (Vahrenkamp, 2000 S. 151)

Durchlaufzeit					
Belegungszeit		Übergangszeit			Zusatzzeit
Bearbeitungszeit	Rüstzeit	Wartezeit	Liegezeit	Transportzeit	Zusatzzeit

**Abbildung 6:** Bestandteile Durchlaufzeit

Die Transportzeit weist den Zeitraum aus, der für den Transport des Auftrags von einer Kapazitätsgruppe zur nächsten erforderlich ist. Die Liegezeit für einen Fertigungsauftrag kann technologisch bzw. prozessbezogen sein. Dabei muss ein Fertigungsauftrag zwischen dem vorherigen Arbeitsgang und dem darauf folgenden Arbeitsgang verweilen und darf nicht weiterbearbeitet werden.<sup>22</sup> Bei der Rüstzeit handelt es sich um eine einmalige Vorbereitung bzw. Umstellung der Betriebsmittel zur Abarbeitung eines Arbeitsvorgangs. Die Bearbeitungszeit ist indessen die Zeit, die zur Durchführung eines Bearbeitungsvorgangs benötigt wird.<sup>23</sup> Die Verbesserung des Auftragsdurchlaufs durch die Verkürzung der Durchlaufzeit ist das Ziel der



**Abbildung 7:** Zusammensetzung der Durchlaufzeit eines Arbeitsganges<sup>24</sup>

Durchlaufterminierung. Grundsätzlich lassen sich zwei Vorgehensweisen voneinander abheben: Vorwärtsterminierung und Rückwärtsterminierung.<sup>25</sup>

<sup>22</sup> Vgl. (Kiener, et al., 1990 S. 150 ff.)

<sup>23</sup> Vgl. (Köbernik)

<sup>24</sup> In Anlehnung an (Schneider, et al., 2004 S. 69)

<sup>25</sup> Vgl. (Plümer, 2003 S. 211 ff.)

Die Basis für die Terminierung des Durchlaufes bildet die Netzplantechnik. Dabei vollzieht sich die Zeitplanung in mehreren Schritten. Folgende Symbole werden für die Netzplantechnik verwendet:<sup>26</sup>

<i>Symbol</i>	<i>Bedeutung</i>
$d_j$	Dauer des Arbeitsgangs $j$
$d_{jn}$	zeitlicher Mindestbestand zwischen dem Ende des Arbeitsgangs $j$ und dem Beginn des Arbeitsgangs $n$
$FAZ_j$	frühestmöglicher Anfangszeitpunkt des Arbeitsgangs $j$
$FEZ_j$	frühestmöglicher Endzeitpunkt des Arbeitsgangs $j$
$N_j$	Indexmenge der direkten Nachfolger des Arbeitsgangs $j$
$SAZ_j$	spätestzulässiger Anfangszeitpunkt des Arbeitsgangs $j$
$SEZ_j$	spätestzulässiger Endzeitpunkt des Arbeitsgangs $j$
$V_j$	Indexmenge der direkten Vorgänger des Arbeitsgangs $j$
$d_{vj}$	Mindestabstand zwischen dem Ende des Arbeitsgangs $v$ und dem Beginn des Arbeitsgangs $j$
$SAZ_n$	spätestzulässiger Beginn des Arbeitsgangs $n$
$GP_j$	die gesamte Pufferzeit $GP_j$ eines Vorgangs $j$
$FP_j$	die freie Pufferzeit $FP_j$ eines Vorgangs $j$
$BP_j$	die bedingte Pufferzeit $BP_j$ eines Vorgangs $j$
$UP_j$	die unabhängige Pufferzeit $UP_j$ eines Vorgangs $j$

**Tabelle 2:** Übersicht der verwendeten Symbole in der Netzplantechnik

### 2.3.1.1 Vorwärtsterminierung

Bei der Vorwärtsterminierung entsprechen die Planungsabläufe exakt den Fertigungsabläufen. Es werden im Rahmen der geplanten Startzeitpunkte eines Fertigungsauftrages die frühestmöglichen Start- sowie Endtermine ( $FAZ_j$  und  $FEZ_j$ ), wobei  $j=1, 2, \dots, J$  errechnet. Die technologisch festgelegte Arbeitsreihenfolge bzw. Bearbeitungsreihenfolge ist zu berücksichtigen.

<sup>26</sup> Vgl. (Günther, et al., 2005 S. 213 ff.)

$$FAZ_0 = 0 ,$$

$$FEZ_j = FAZ_j + d_j, \quad (GL) 3$$

$$FAZ_j = \max_{v \in V_j} \{ FEZ_v + d_{vj} \}, \quad (GL) 4$$

### 2.3.1.2 Rückwärtsterminierung

Bei einer Rückwärtsplanung gestaltet sich der Planungsablauf entgegen einem technologischen Ablauf. Alle End- und Anfangstermine ( $SAZ_j$  und  $SEZ_j$ ) für die Arbeitsgänge, ausgehend von einem gegebenen Fertigungszeitpunkt, werden damit generiert.<sup>27</sup>

$$SAZ_j = SEZ_j - d_j, \quad (GL) 5$$

$$SEZ_j = \min_{v \in V_j} \{ SAZ_n + d_{jn} \}, \quad (GL) 6$$

#### Bestimmung der Pufferzeiten und des kritischen Weges

Die Pufferzeit eines Arbeitsvorgangs ist sogleich die Differenz zwischen dem frühestmöglichen und dem spätestzulässigen Anfangs- sowie Endtermin eines Arbeitsvorgangs:

Es sind 4 Arten von Pufferzeit zu differenzieren, da es hier um Zeiteinheiten geht, sind lediglich nichtnegative Werte zugelassen.<sup>28</sup>

#### 1. Gesamte Pufferzeit

$$GP_j = SAZ_j - FAZ_j = SEZ_j - FEZ_j. \quad (GL) 7$$

Die gesamte Pufferzeit sagt aus, um wie viele Zeiteinheiten die Bearbeitungsdauer eines Arbeitsgangs  $j$  bei einem frühestmöglichen Beginn verlängert werden kann, ohne den darauf folgenden, spätestzulässigen Anfangstermin eines Arbeitsgangs zu verschieben. Infolgedessen fungieren Pufferzeiten als Zeitreserven für Arbeitsgänge. Somit können Aufträge verschoben werden, ohne dass der Fertigstellungstermin davon beeinflusst wird.

<sup>27</sup> Vgl. (Nebl, 2007 S. 656 ff.)

<sup>28</sup> In Anlehnung an (Dürr, et al., 1992 S. 200)



## 2. Freie Pufferzeit

„Die freie Pufferzeit  $FP_j$  eines Vorgangs  $j$  ist die kleinste Differenz zwischen den frühestmöglichen Anfangsterminen der Nachfolger von  $j$  und dem frühestmöglichen Endzeitpunkt von  $j$ “, d. h.:

$$FP_j = \min_{i \in N(j)} (FAZ_i - (FAZ_j + Z_{ji})) \quad (\text{GL}) 8$$

Wobei  $N(j)$  die Menge der Nachfolger von  $j$  ist.

Ein Vorgang kann folglich mit seinem Beginn um seine freie Pufferzeit variieren, ohne negative Auswirkungen auf seinen Nachfolger zu haben.

## 3. Bedingte Pufferzeit

Die bedingte Pufferzeit ist definiert durch

$$BP_j = GP_j - FP_j. \quad (\text{GL}) 9$$

Die bedingte Pufferzeit ist nach der o. g. Formel ein Teil der gesamten Pufferzeit nach Verbrauch der freien Pufferzeit. Infolgedessen bedingt eine Inanspruchnahme der bedingten Pufferzeit eine Verschiebung der frühestmöglichen Anfangstermine der nachfolgenden Vorgänge.

## 4. Unabhängige Pufferzeit

Sie ist eine Zeitreserve, die ein Vorgang hat, wenn seine Vorgänger zum spätestmöglichen Termin enden und seine Nachfolger frühestmöglich beginnen.

$$UP_j = \max\{0, UP_j\} \quad (\text{GL}) 10$$

Die Ausnutzung der unabhängigen Pufferzeit hat keinen Einfluss auf die Zeiten im Gesamtprojekt und determiniert somit auch seine Nachfolger nicht sowie deren Anfangstermin.

## 2.3.2 Kapazitätsplanung und -steuerung

Die Einplanung des Bedarfs an Maschinenkapazität sowie der Personalkapazität lt. Bedarfsplanung auf die Arbeitsplätze der Fabrik gilt als wesentliches Merkmal der Kapazitätsplanung.<sup>29</sup> Damit dienen die Kapazitäten des Arbeitssystems der Durchführung von bestimmten Aufgaben und werden dementsprechend qualitativ bzw.

<sup>29</sup> Vgl. (Lebefromm, 1997 S. 139ff.)

quantitativ segmentiert.<sup>30</sup> „Die quantitative Kapazität ist die Fähigkeit eines Betriebsmittels oder eines Arbeitsplatzes, eine bestimmte Menge in einer vorgegebenen Zeit zu bearbeiten.“

„Die qualitative Kapazität ist die Eignung eines Betriebsmittels für bestimmte Verwendungszwecke.“<sup>31</sup> Der Einsatz von wirtschaftlichen Ressourcen mittels Wahrung der Terminvorgaben eines Produktionsprogramms ist das Ziel der Kapazitätsplanung. Voraussetzung dafür ist der Einsatz von Verfahren zum Abgleich von Kapazitätsnachfrage sowie Kapazitätsangebot.<sup>32</sup>

<i>Kennzahlen</i>	<i>Formel</i>
<i>Kapazitätsauslastung</i>	<b>Kapazitätsauslastung in %</b> = $\frac{\text{benötigte Kapazität} \cdot 100}{\text{vorhandene Kapazität}}$ (GL) 11
<i>Rüstanteil der Anlagen</i>	<b>Rüstanteil der Anlagen in %</b> = $\frac{\text{gesamte Rüstzeit der Anlagen} \cdot 100}{\text{gesamte Kapazität der Anlagen}}$ (GL) 12
<i>Leistungsgrad</i>	<b>Leistungsgrad in %</b> = $\frac{\text{Beobachtete Ist-Leistung}}{\text{vorgestellte Bezugsleistung}} \cdot 100$ (GL) 13

**Tabelle 3:** Formeln der Kapazitätsplanung

### 2.3.3 Kapazitätsterminierung

Die Kapazitätsterminierung schließt sich an die Durchlaufterminierung an. Dabei wird „in jeder Periode ein Vergleich zwischen dem geplanten Kapazitätsbedarf und den verfügbaren Kapazitäten durchgeführt“.<sup>33</sup>

Die wesentlichen Funktionen sind, die Belastung wie auch die verfügbaren Kapazitäten aufeinander anzugleichen, um eine möglichst hohe und einheitliche Kapazitätsauslastung sicherzustellen.<sup>34</sup> Es konkurrieren entsprechend zwei oder mehrere Arbeitsvorgänge in derselben Zeit um freie Kapazitäten. Infolgedessen sind die zuvor berechneten Anfangstermine einzelner Arbeitsvorgänge nicht ausführbar.

<sup>30</sup> Vgl. (REFA, 1991 S. 180)

<sup>31</sup> Vgl. (Luger, et al., 1999 S. 141)

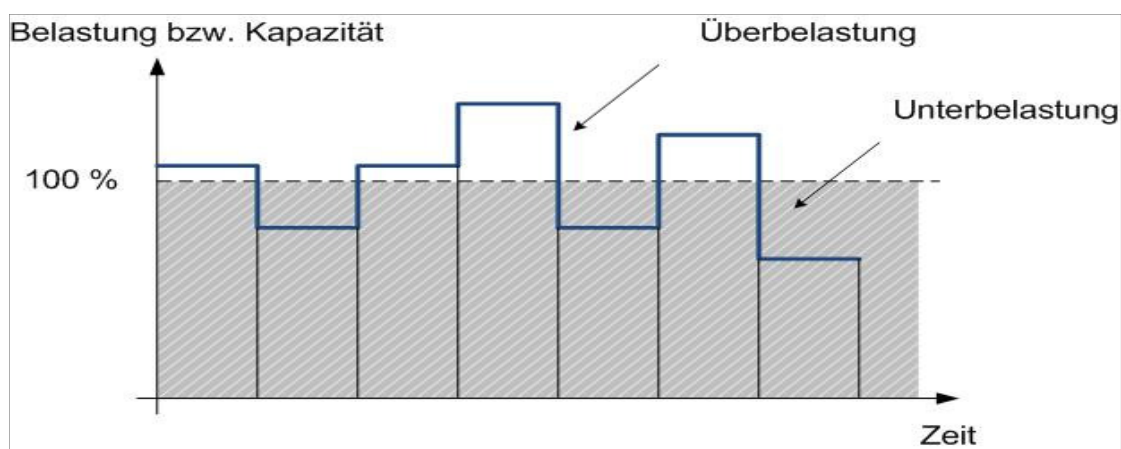
<sup>32</sup> Vgl. (Lebefromm, 1997 S. 139ff.)

<sup>33</sup> (Domschke, et al., 1997 S. 19)

<sup>34</sup> Vgl. (Koether, 2008 S. 144)

### 2.3.3.1 Ermittlung der Kapazitätsbelastung

Die Kapazitätseinheiten erzeugen den Ausgangspunkt der Kapazitätsterminierung im ersten Schritt. Unter Kapazitätseinheiten werden einzelne Maschinen oder Maschinengruppen verstanden. Unteressen konkurrieren Arbeitsgänge unterschiedlicher Fertigungsaufträge um die Bearbeitung auf den jeweiligen Kapazitätseinheiten. Knappe Kapazitäten werden hauptsächlich als das Leistungsvermögen einer Kapazitätseinheit in einer Planperiode gemessen. In der Regel wird das Leistungsvermögen in Zeiteinheiten deklariert. Abbildung 8 veranschaulicht den Kapazitätszustand einer Kapazitätseinheit in einem Belastungsprofil.<sup>35</sup>



**Abbildung 8:** Belastungsprofil einer Kapazitätseinheit

### 2.3.3.2 Der Kapazitätsabgleich

„Als Kapazitätsabgleich bezeichnet man im engeren Sinne oft die Anpassung des Kapazitätsbedarfs an die gegebenen Kapazitätsgrenzen durch Terminverschiebungen.“<sup>36</sup> Es wird der Kapazitätsbedarf mit dem Kapazitätsangebot verglichen.

<sup>35</sup> Vgl. (Kiener, et al., 1990 S. 169)

<sup>36</sup> Vgl. (Kurbel, 2005 S. 155)



**Abbildung 9:** Maßnahmen des Kapazitätsabgleich<sup>37</sup>

Dadurch sollen Überbelastungen bzw. Unterbelastungen erkannt werden, um anschließend die Belastungs- und Kapazitätsprofile aufeinander abgleichen zu können. Auf diese Weise sollen hohe Übergangszeiten wie auch geringe Auslastung, in Folge einer Über- bzw. Unterlastung, vermieden werden.<sup>38</sup> Abbildung 9 verschafft einen Überblick über kurzfristig mögliche Abstimmungsmaßnahmen.

#### 2.3.3.2.1 **Anpassung des Kapazitätsangebotes an den Kapazitätsbedarf**<sup>39</sup>

Um die Kapazität an die Kapazitätsbelastung anzugleichen, bieten sich folgende Maßnahmen an:

- Zeitliche Anpassung durch die Vereinbarung von Überstunden oder Zusatzschichten

<sup>37</sup>Vgl. (Kiener, et al., 2006 S. 240)

<sup>38</sup> Vgl. (Koether, 2008 S. 147)

<sup>39</sup> Vgl. (Neumann, 1996 S. 101 ff.)

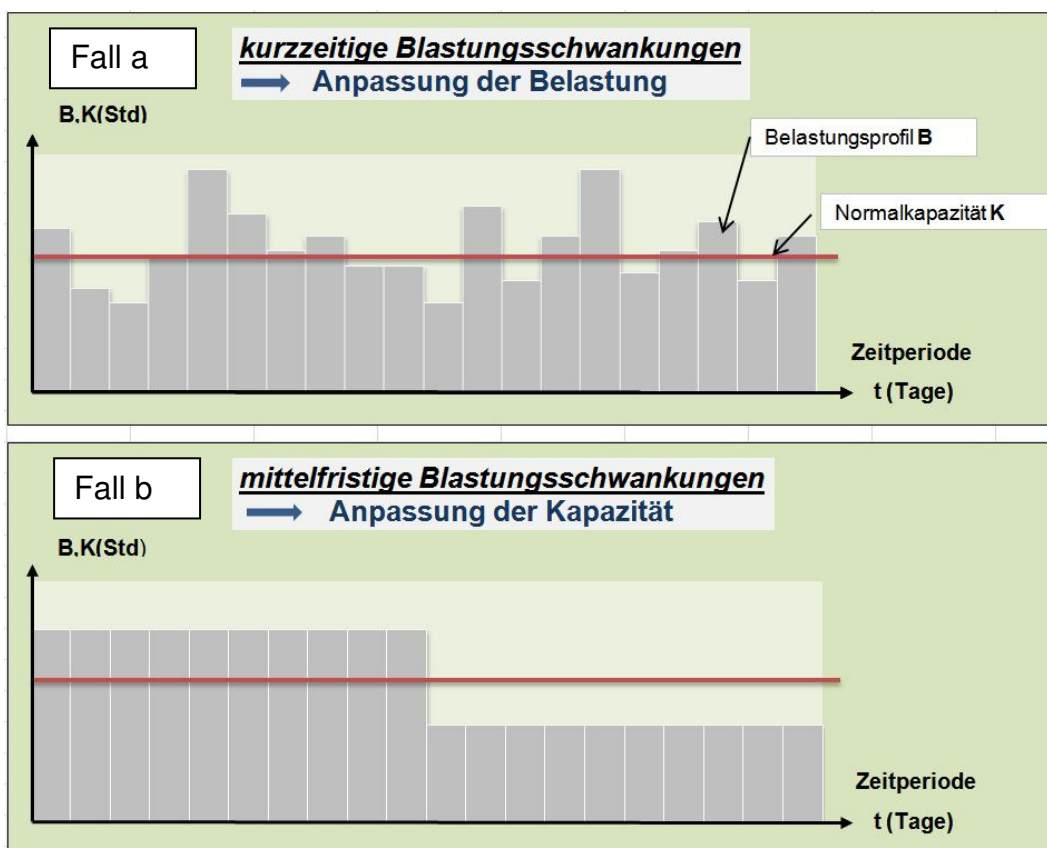
- Intensitätsmäßige Anpassung durch das Steigern des Leistungsgrades von Arbeitskräften bzw. das Erhöhen der Produktionsgeschwindigkeit von Maschinen
- quantitative Anpassung durch die Verlagerung von Arbeitskräften (Springereinsatz), der Einsatz von Leiharbeitern und die Inbetriebnahme zusätzlicher Reservekapazitäten.

Die Anpassungsmaßnahmen können dabei die Kapazitäten steigern oder aber vermindern, dieses ist jeweils abhängig von der Zielsetzung eines Betriebes.

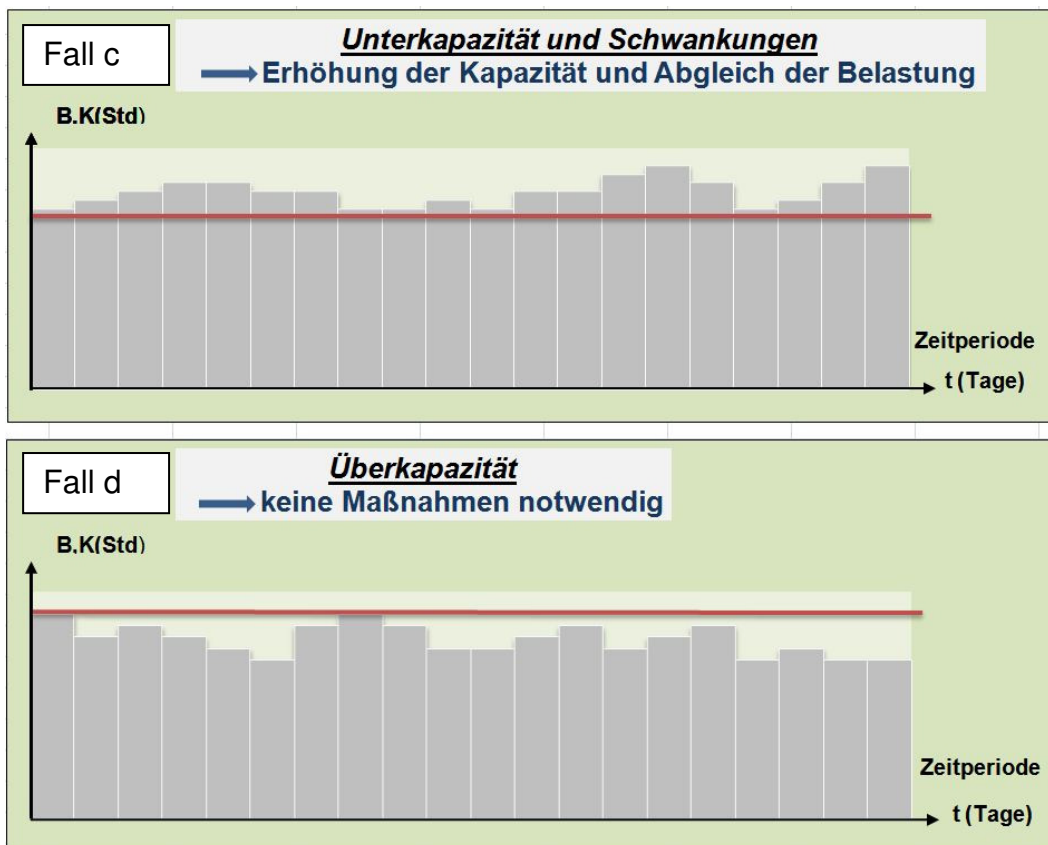
#### 2.3.3.2 **Anpassung der Kapazitätsbelastung an das Kapazitätsangebot**<sup>40</sup>

Für die Anpassung der Belastung an die Kapazität existiert ebenso eine Vielfalt von Möglichkeiten:

Losverschiebung durch die Verlagerung von Kapazitäten bzw. Fertigungsaufträgen, Loseilung (Lossplitting), Fremdvergabe (Auswärtsvergabe) von Aufträgen.



<sup>40</sup> Vgl. (Schneeweiß, 2002 S. 248 ff)



**Abbildung 10:** Möglichkeiten einer Kapazitätsanpassung und des Belastungsabgleichs<sup>41</sup>

Die Art der Vorkehrungen für die Kapazitätsanpassung bzw. für den Belastungsabgleich ist abhängig von der Kapazitätsflexibilität sowie der zeitlichen Struktur der Abweichungen von Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf.<sup>42</sup> Abbildung 10 verweist auf typische Situationen. Der Belastungsverlauf im Fall a schwankt dabei stellenweise um einen Normalkapazitätswert. Ein zeitliches Verschieben der Arbeitsgänge, soweit der zeitliche Puffer es zulässt, oder das Ausweichen auf einen anderen Arbeitsplatz können eine Glättung des Belastungsprofils hervorrufen, um Leerzeiten der Arbeitsplätze wie auch eine Überlastung zu vermeiden. Der Fall b weist eine mittlere Belastungsschwankung auf. Eine Verringerung der Kapazität würde Abhilfe schaffen, z. B. durch Schichtabbau bzw. Stilllegung von Maschinen. Der Fall c offenbart durchweg zu wenige Kapazitäten.

Die Erhöhung von Überstunden kann diese Schwankungen abgleichen. Im Fall d sind insgesamt keine weiteren Maßnahmen notwendig. Aufgrund der Tatsache,

<sup>41</sup> Vgl. (Wiendahl, 2005 S. 325)

<sup>42</sup> Vgl. (Wiendahl, 2005 S. 326 ff.)

dass die Termintreue immer mehr an Bedeutung gewinnt, desto flexibler müssen Kapazitätsanpassungen vonstattengehen.

## 2.4 Auftragsfreigabe

Die Aufgabe der Auftragsfreigabe besteht darin, zu überprüfen, ob die Fertigungsaufträge tatsächlich für die Fertigung freigegeben werden können. Die Zeitpunkte, in der die Fertigung diese Aufträge zur weiteren Bearbeitung entnehmen darf, sind durch die Auftragsfreigabe festgelegt. Dementsprechend wirkt sich die Auftragsfreigabe auf die Durchlaufzeiten, den Bestand sowie auf die bestandsbedingte Auslastung der Fertigung aus.<sup>43</sup> Die Auftragsfreigabe findet in kurzfristigen Zeitintervallen statt. Es werden lediglich MRP-Planaufträge berücksichtigt, welche in naher Zukunft geschehen. Verläuft die Auftragsfreigabe positiv, so sind diese Aufträge in den darauf folgenden MRP-Läufen als „eingeplante Fertigungsaufträge“ ausgewiesen.<sup>44</sup>

Die Auftragsfreigabe lässt sich in drei Klassifizierungsmerkmale unterscheiden:<sup>45</sup>

- Das *Kriterium* ist dadurch gekennzeichnet, dass Merkmale fixiert werden, die für die weitere Freigabe der Aufträge notwendig sind.
- Der *Detaillierungsgrad* entscheidet, ob ein Auftrag als Ganzes bzw. ob eine Entscheidung in Bezug auf die Freigabe jedes einzelnen Arbeitsvorgangs getroffen werden muss.
- Die *Auslösungslogik* wählt die Logik aus, nach der die Entscheidung über die Auftragsfreigabe angestoßen werden soll. Die Freigabe neuer Aufträge kann nicht nur durch immer wiederkehrende Zeitintervalle ausgesprochen werden, sondern auch nach definierten Ereignissen.

Die Auftragsfreigabe bewirkt dementsprechend die Überleitung zwischen Produktionsplanung und Produktionssteuerung.

Es ist noch nicht im Detail geregelt, wann die Fertigungsaufträge und in welcher Reihenfolge sie von den Produktionsstellen abgearbeitet werden.<sup>46</sup>

---

<sup>43</sup> Vgl. (Lödding, 2008 S. 296)

<sup>44</sup> Vgl. (Jodlbauer, 2007 S. 160)

<sup>45</sup> In Anlehnung an (Lödding, 2008 S. 296)

<sup>46</sup> Vgl. (Kiener, et al., 1990 S. 109)

## 2.5 Reihenfolgeplanung

Die Reihenfolgeplanung (Feinterminierung bzw. Ablaufplanung) ist Gegenstand der Produktionssteuerung. „Im Rahmen der Feinfertigung werden für die einzelnen im Planungszeitraum einzulastenden Produktionsaufträge Start- und Endtermine und damit Reihenfolge und Maschinenbelegungen als Stellgrößen der Produktionssteuerung ermittelt.“<sup>47</sup> Gegenstand der Reihenfolgeplanung ist es, zu beschließen, in welcher Reihenfolge  $N$  Aufträge auf den zum Einsatz gelangenden  $M$  Maschinen zu bearbeiten sind. Die Voraussetzung ist das Wissen der Anzahl und die Eigenschaften der Maschine wie auch die Anzahl und Beschaffenheit der anzufertigenden Produkte.<sup>48</sup> Dabei sind folgende Bedingungen bei der Zuordnung der Fertigungsaufträge zu den jeweils einzelnen Bearbeitungsstationen zu berücksichtigen:

- Jeder Auftrag muss eine bestimmte vorgegebene Reihenfolge der zu bearbeitenden Station durchfließen. Dabei werden alle Arbeitsgänge auf unterschiedlichen Bearbeitungsstationen erledigt.
- Ein Auftrag kann nur auf einer Bearbeitungsstation realisiert werden. Eine Bearbeitungsstation kann nicht mehr als einen Auftrag übernehmen.
- Zu Beginn des Planungszeitraumes ist der Auftragsbestand bekannt.
- Die Bearbeitungs-, Rüst- und Transportzeiten sind bekannt und festgelegt.
- Produktionsmöglichkeiten werden nicht durch Produktionskapazitätsbegrenzungen und Lagerkapazitätsbegrenzungen eingeschränkt.
- Die Bearbeitung der Aufträge geschieht fehlerfrei.<sup>49</sup>

Das Maschinenbelegungsproblem kann gelöst werden, sofern die Maschinenreihenfolge bekannt ist und die Reihenfolge der Aufträge unter Berücksichtigung der aufgezählten Merkmale recherchiert ist.<sup>50</sup> Der Bearbeitungsablauf einer Reihenfolgeplanung kann dabei in zwei Organisationstypen der Fertigung unterschieden werden:

- **Reihenfertigung (Flow Shop):** Die Maschinenreihenfolge ist bei jedem Auftrag gleich.

---

<sup>47</sup> Vgl. (Dyckhoff, et al., 2004 S. 251)

<sup>48</sup> Vgl. (Corsten, 2003 S. 488)

<sup>49</sup> Vgl. (Nebel, 2007 S. 686)

<sup>50</sup> Vgl. (Jung, 2006 S. 510)



- Werkstattfertigung (Job-Shop): Jeder Auftrag kann in unterschiedlicher Reihenfolge die Maschinen durchlaufen.<sup>51</sup>

### 2.5.1 Planungsansätze der Reihenfolgeplanung

Die Planungsansätze der Reihenfolgeplanung lassen sich differenzieren nach stochastischen Ansätzen bzw. nach dynamischen Ansätzen. Die Abbildung 11 charakterisiert die Merkmale.

Planungsansätze der Reihenfolgeplanung	
Statisch	Dynamisch
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alle Aufträge sind gleichzeitig zu Beginn der Planungsperiode verfügbar</li> <li>• Zu belegende Bearbeitungsstationen sind frei</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu bearbeitende Aufträge treffen sukzessive während der Planungsperiode an den zu belegenden Bearbeitungsstationen ein</li> <li>• Benötigte Bearbeitungsstationen sind zum Planungsbeginn belegt</li> </ul>
Reihenfolgeproblem wird am Anfang einer Planungsperiode gelöst	Reihenfolgeproblem wird während der Planungsperiode wiederholt aufgeworfen und gelöst
Praxisfern	Praxisnah
Geringer Planungsaufwand	Hoher Planungsaufwand

**Abbildung 11:** Planungsansätze der Reihenfolgeplanung<sup>52</sup>

#### *Ziele der Reihenfolgeplanung*

Die Reihenfolgeplanung befasst sich vorwiegend mit der Reduzierung entscheidungsrelevanter Kosten. Aufgrund der Tatsache, dass die Kosten in der Ablaufplanung nur bedingt zu bestimmen sind, werden zeitbezogene Ziele als Ersatz verwendet. Somit ist das Anstreben der Minimierung von Zeitgrößen die primäre Zielfunktion der Reihenfolgeplanung.<sup>53</sup>

<sup>51</sup> Vgl. (Kiener, et al., 2006 S. 248)

<sup>52</sup> In Anlehnung an (Nebl, 2007 S. 687)

<sup>53</sup> Vgl. (Corsten, 2003 S. 490)

Symbol	Bedeutung
$N$	Anzahl der vorliegenden Aufträge
$M$	Anzahl der vorhandenen Maschinen
$p_{nm}$	Bearbeitungszeit (Auftragszeit)
$w_{nm}$	Wartezeit
$l_{nm}$	Ablaufbedingte Leerzeit der Maschine $m$ unmittelbar vor Bearbeitung des Auftrags $n$
$d_n$	Durchlaufzeit des Auftrages $n$
$s_n$	Endtermin bzw. Fertigstellungstermin von Auftrag $n$
$D$	Durchlaufzeit

**Tabelle 4:** Symbole der Reihenfolgeplanung

Die Durchlaufzeit des Auftrages  $n$  lässt sich wie folgt definieren: Sie ist die Summe aus den Bearbeitungszeiten  $p_{nm}$  und den Wartezeiten  $w_{nm}$  bei den gesamten Maschinen:

$$d_n := \sum_{m=1}^M (p_{nm} + w_{nm}), \quad (\text{GL}) 14$$

Folgende Zielgrößen lassen sich auf diese Weise formulieren.<sup>54</sup>

- *Minimierung der Gesamtdurchlaufzeit*

Die Gesamtdurchlaufzeit ist die Summe der Durchlaufzeiten von allen Aufträgen. Die Durchlaufzeit setzt sich wie folgt zusammen: aus der Bearbeitungszeit, der Rüst-, Transport- und den Liegezeiten. Das Material für die Aufträge wird als gebundenes Kapital dargestellt.

Die dadurch entstehenden Kapitalbindungskosten (Opportunitätskosten) sollen demzufolge minimiert werden. Der Zeitpunkt, wo auf das Geld nicht zugegriffen werden kann, wird durch die Summe der Durchlaufzeiten aller Aufträge, der Gesamtdurchlaufzeit  $D$ , determiniert,

$$D := \sum_{n=1}^N d_n = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M (p_{nm} + w_{nm}). \quad (\text{GL}) 15$$

Wegen der Tatsache, dass die Bearbeitungszeiten feste Größen sind, entsteht durch die Reduzierung der Gesamtdurchlaufzeit die Gesamtwartezeit  $W$ ,

<sup>54</sup> In Anlehnung an (Kiener, et al., 1990 S. 188 ff.)

$$\mathbf{W} := \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \mathbf{w}_{nm} , \quad (\text{GL}) 16$$

und somit werden die Lagerzeiten aller Aufträge, wie auch indirekt die Kapitalbindungskosten, reduziert.

- *Minimierung der maximalen Durchlaufzeit*

Das Ziel der Minimierung der maximalen Durchlaufzeit ist die Verkürzung von Zeitintervallen, um alle  $N$  Aufträge erfüllen zu können. Der Auftragsbestand soll möglichst frühzeitig fertiggestellt werden. Als Weiteres kann kontrolliert werden, inwieweit die vorhandenen Kapazitäten für die Erledigung eines Auftrages ausreichen.

$$D_{\max} := \max_{n=1, \dots, N} \{d_n\} = \max_{n=1, \dots, N} \{\sum_{m=1}^M (p_{nm} + w_{nm})\} \quad (\text{GL}) 17$$

- *Minimierung der ablaufbedingten Gesamtleerzeit der Maschinen*

Ein weiteres Ansinnen der Reihenfolgeplanung ist die Maximierung der Kapazitätsauslastung. Damit soll die von der Einplanung der Aufträge abhängige Gesamtleerzeit  $L$  aller Maschinen gesenkt werden.

$$L := \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M l_{nm} \quad (\text{GL}) 18$$

- *Minimierung der gesamten Terminüberschreitungszeit*

Es wird versucht, die Fertigstellungstermine einzuhalten. Die gesamte Terminüberschreitungszeit  $T$  ergibt sich als die Summe der Terminüberschreitungskosten aller Aufträge:

$$L := \sum_{n=1}^N \max\{0, d_n - S_n\} . \quad (\text{GL}) 19$$

Ein weiteres Anliegen der Reihenfolgeplanung besteht in der Auslastung der Maschinenkapazitäten. Einige der Ziele sind dabei nicht immer kompatibel zueinander, d. h., es entstehen zum Teil Konflikte zwischen den Zielsetzungen.

Die Minimierung der Durchlaufzeit kann nicht gewährleistet werden, wenn gleichlaufend die Kapazitätsauslastung maximiert werden soll. Ein solches Problem wird in der Literatur als „Dilemma der Ablaufplanung“ bezeichnet.<sup>55</sup>

---

<sup>55</sup> Vgl. (Jehle, et al., 1990)

### 2.5.2 Maschinenbelegungsplanung

„Die Maschinenbelegungsplanung (Scheduling) beschäftigt sich mit der optimalen Einplanung von Aufträgen oder Jobs, die auf gewissen Maschinen zu bearbeiten sind.“<sup>56</sup> Daher treten Probleme im Scheduling hauptsächlich im Fertigungsbereich auf. Der Kerngedanke der Maschinenbelegungsplanung ist, wann welche Aufträge bzw. Jobs auf welchen Maschinen zu bearbeiten sind, dadurch sollen bestimmte Zielfunktionen reduziert werden. Dementsprechend ist die Maschinenbelegungsplanung durch eine Vielfalt von Optimierungshindernissen geprägt, welche durch Verknüpfungen mannigfaltiger Maschinenkonfigurationen, Zielfunktionen wie auch Einschränkungen resultieren.<sup>57</sup> Im Rahmen der Entscheidungsmodelle der Feinterminierung werden folgende grundlegende Klassen an Problemen der Organisationstypen unterschieden:

- Ein-Maschinen-Problem,
- Flowshop-Probleme und Jobshop-Probleme.

**Das Ein-Maschinen-Problem** tritt hervor, sobald eine Maschine mehrere Aufträge bearbeiten muss bzw. die Einlastung der Aufträge auf einer „Engpassmaschine“ die Fertigstellungszeitpunkte der Aufträge negativ beeinflusst. Die Beanspruchung einer Maschine (Engpass-Maschine) steigt auf diese Weise kontinuierlich an.

Es wird die Reihenfolge gesucht, in der die Aufträge die Engpass-Maschine durchlaufen müssen, um die Gesamtbearbeitungsdauer möglichst gering zu halten.<sup>58</sup>

**Flowshop-Probleme (Fließfertigung)** zeichnen sich dadurch aus, dass  $n$  Aufträge auf  $m$  Maschinen zu bearbeiten sind. Für jeden Auftrag  $j$  existieren  $m$  Arbeitsgänge, die eine bestimmte Maschinenreihenfolge durchlaufen. Das bedeutet, bei der Fließfertigung absolvieren alle Aufträge die Maschinen in derselben Auftragsreihenfolge.<sup>59</sup> Des Weiteren darf ein Auftrag seinen Vorgänger nicht überholen, wobei jeder Auftrag genau einmal an einer Maschine bearbeitet werden darf.

---

<sup>56</sup> (Morlock, et al., 2002 S. 474)

<sup>57</sup> Vgl. (Morlock, et al., 2002 S. 474 ff.)

<sup>58</sup> Vgl. (Tautenhahn, 1998)

<sup>59</sup> Vgl. (Domschke, et al., 1997 S. 361)

Es ergeben sich somit folgende Möglichkeiten der Reihenfolge bei einer Fließfertigung:<sup>60</sup>

$$m! \quad m = \text{Anzahl der Aufträge.} \quad (\text{GL}) 20$$

Im Unterschied zur Fließfertigung zeichnen sich Jobshop-Probleme (Werkstattfertigung) üblicherweise durch eine vorgegebene, beliebige Auftragsreihenfolge auf den einzelnen Maschinen aus. Die Aufträge können unterschiedliche Wege durch die Werkstatt durchlaufen. Es besteht u. a. die Möglichkeit, dass ein Auftrag eine Maschine mehrmals durchläuft oder dass eine Maschine auch ausgelassen bzw. nicht berücksichtigt wird.<sup>61</sup>

Durch die kombinatorische Problemstellung bilden sich somit folgende Varianten der Reihenfolge bei einer Werkstattfertigung:

$$m!^n \quad m = \text{Zahl der Aufträge} \quad n = \text{Zahl der Maschinen} \quad (\text{GL}) 21$$

### 2.5.3 Lösungsansätze zur Maschinenbelegung

Die Anordnung der zu produzierenden Auftragsreihenfolge wird durch folgende Lösungsansätze bestimmt: das heuristische, analytische und deterministische Verfahren (Vgl. Abbildung 12).

Lösungsansätze zur Realisierung einer Reihenfolgeplanung			
Verfahren	Analytisch	Heuristisch	Deterministisch
Ziele	Optimallösung	Näherungslösung	Näherungslösung/Optimale Lösung
Mittel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reihungsregel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prioritätsregel</li> <li>Näherungsverfahren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erprobung möglicher organisatorischer Bearbeitungsfolgen</li> <li>Experimentelle Prüfung der Wirkung von Prioritätsregeln und Näherungsverfahren zur Erreichung ökon. Ziele</li> </ul>
Ergebnis	Organisatorische Bearbeitungsfolge		

**Abbildung 12:** Lösungsansätze zur Realisierung einer Reihenfolgeplanung<sup>62</sup>

<sup>60</sup> Vgl. (Schiemenz, et al., 2005 S. 189 ff.)

<sup>61</sup> Vgl. (Vahrenkamp, 1998 S. 209)

<sup>62</sup> In Anlehnung an (Nebl, 2007 S. 690)

### *Analytische Lösungsverfahren*

Die analytischen Lösungsverfahren haben das Ziel, nach einer Optimallösung zu streben. Sie handeln gemäß einem mathematischen Algorithmus. Aufgrund der Tatsache, dass der Algorithmus in Reihungsregeln verfasst wird, entsteht demzufolge eine große Anzahl Reihungsmöglichkeiten, welche nur durch einen hohen Rechenaufwand bewältigt werden können. Deshalb findet die Anwendung insbesondere in Problemlösungen bei einer beschränkten Anzahl von Aufträgen statt.<sup>63</sup>

### *Heuristische Lösungsverfahren*

Heuristische Lösungsverfahren haben als Zielsetzung, eine Näherungslösung anzustreben. Es werden dabei Näherungsverfahren wie auch Prioritätsregeln (Dringlichkeits-, Vorrangsregeln) eingesetzt. Die Handhabung ist einfach, benötigt keinen großen Rechenaufwand und ist normalerweise vom Entscheidungsträger leicht verständlich. Heuristische Verfahren finden hauptsächlich in Job-Shop-Modellen Anwendung bei der Reihenfolgebestimmung.<sup>64</sup>

### *Deterministische Simulation*

Die deterministische Simulation erfolgt auf experimentellem Wege. Die Strebsamkeit, nach Aussagen über nützlich organisatorische Bearbeitungsreihenfolgen zu erlangen, ist Teil der deterministischen Simulation. Dabei werden Veränderungen an vorher untersuchten Alternativen angewandt. Die Simulation kann zeigen, welche Prioritätsregeln für welche ökonomischen Zielsetzungen hauptsächlich geeignet sind.

#### **2.5.3.1 Prioritätsregeln**

Im Rahmen der Fertigungssteuerung sind Prioritätsregeln Vorschriften, „nach denen festgelegt wird, in welcher Reihenfolge die vor einer Maschine in einer Warteschlange befindlichen Aufträge bearbeitet werden“.<sup>65</sup> Sie beruhen auf Fertigstellungs- bzw. Bearbeitungszeiten. Es werden in der Regel keine Ergebnisse geboten, da die Lösungen durch spezifische Rahmenbedingungen und die damit verbundenen

---

<sup>63</sup> Vgl. (Nebl, 2004 S. 511)

<sup>64</sup> Vgl. (Nebl, 2007 S. 691)

<sup>65</sup> (Nebl, 2007 S. 691)

Zielsetzungen beeinflusst werden.<sup>66</sup> Prioritätsregeln können demzufolge in elementare und kombinatorische Prioritäten eingestuft werden. Die Anwendung von lediglich einem Reihenfolgekriterium ist kennzeichnend für die elementaren bzw. einfachen Prioritätsregeln.<sup>67</sup> Die bekanntesten elementaren Prioritätsregeln sind in Tabelle 4 ersichtlich, wobei noch eine Vielzahl an weiteren Prioritätsregeln existiert.

Regel	Erklärung
FIFO (First In-First Out)	Der Auftrag, der als erster an der Maschine ankommt, wird auch bearbeitet.
KOZ-Regel (Kürzeste Operationszeit)	Es wird der Auftrag mit der kürzesten Operationszeit der Prioritätsliste bearbeitet.
LOZ-Regel (Längste Operationszeit)	Es wird der Auftrag mit der längsten Operationszeit der Prioritätsliste bearbeitet.
Schlupfzeit-Regel (SZ)	Es werden die Aufträge priorisiert, bei denen die verbleibende Übergangszeit bis zum planmäßigen Fertigstellungstermin am geringsten ist.
FFT (Frühester Fertigstellungstermin)	Es wird der Auftrag mit dem frühesten Fertigstellungstermin bevorzugt.
EDD (Earliest Due Date)	Es werden die Aufträge mit den frühesten Liefer- bzw. Fertigstellungsterminen favorisiert.
ZUF (Zufallszahl)	Die höchste Priorität erhält der Auftrag, der mithilfe eines Zufallsgenerators den höchsten Wert zwischen Null und Eins einnimmt.
WT-Regel	Der Auftrag, welcher den höchsten Produktivwert erreicht, wird als Nächstes bearbeitet.
KRB	Es folgt der Auftrag, dessen verbleibende Bearbeitungszeit an allen noch folgenden Arbeitsstationen die kürzeste ist.

**Tabelle 4:** Beispiel elementarer Prioritätsregeln<sup>68</sup>

<sup>66</sup> Vgl. (Gienke, et al., 2007 S. 594)

<sup>67</sup> Vgl. (Corsten, 2003)

<sup>68</sup> Vgl. (Schneider, et al., 2004 S. 186)

### *Die Wirksamkeit elementarer Prioritätsregeln*

Die Wirksamkeit elementarer Prioritätsregeln auf die logistischen Zielsetzungen ist in Tabelle 5 illustriert. Dabei sind die Prioritätsregeln, in Abhängigkeit für die Erreichung verschiedener Zielsetzungen, unterschiedlich gut verwendbar. Die KOZ-Regel ist gewissermaßen gut zur Erfüllung der Zielsetzung „Maximale Kapazitätsauslastung“ und „Minimale Durchlaufzeit“. Sie erreicht damit die besten Resultate. Der Zielsetzung „Minimierung der Terminabweichungen“ kann sie dagegen schlecht entsprechen. Die Schlupfzeit-Regel erfüllt die Zielsetzung andererseits.<sup>69</sup> Jede der unterschiedlichen Prioritätsregeln offenbart gewisse Stärken und Schwächen. Um die gesamten Zielsetzungen zu erreichen, bedarf es Kombinationen. Einzelne Kriterien werden zu einer Priorität zusammengefasst bzw. verknüpft, mit dem Vorhaben, die Vorteile der einzelnen Prioritätsregeln zu verbinden und im Gegenzug die negativen Effekte zu verringern.<sup>70</sup>

Zielsetzungen	Prioritätsregeln			
	KOZ-Regel	KRB-Regel	WT-Regel	SZ-Regel
Maximale Kapazitätsauslastung	Sehr Gut	Gut	Mäßig	Gut
Minimale Durchlaufzeit	Sehr Gut	Gut	Mäßig	Mäßig
Minimale Zwischenlagerungskosten	Gut	Mäßig	Sehr Gut	Mäßig
Geringe Terminabweichung	Schlecht	Mäßig	Mäßig	Sehr Gut

**Tabelle 5:** Wirksamkeit der elementaren Prioritätsregeln<sup>71</sup>

Die Verknüpfung elementarer Prioritätsregeln bildet die Grundlage für die Kombination vielseitiger Regeln, daher kann sie auf verschiedenen Wegen geschehen:

- *Additive Verknüpfung*

Es erfolgt die Summierung einzelner Regeln und der daraus resultierenden Zahlenwerte zu einem neuen Kriterium.

<sup>69</sup> Vgl. (Corsten, 2007 S. 506)

<sup>70</sup> Vgl. (Kistner, et al., 2001 S. 125 ff.)

<sup>71</sup> Vgl. (Jehle, et al., 1990 S. 72)



Je nach Situation findet eine andere elementare Regel Anwendung.<sup>72</sup>

- *Multiplikative Verknüpfung*

Eine Vielzahl an unterschiedlichen Prioritätsregeln werden in eine gemeinsame Regel zu einem Produkt zusammengefügt. Kriterien können darüber hinaus über Exponenten gewichtet werden.

- *Alternative Verknüpfung*

In Abhängigkeit der Situation wird immer eine andere Regel bemüht.<sup>73</sup>

Eine passende Verknüpfung auszuwählen, erweist sich als äußerst schwierig. Eine Fehlentscheidung kann vor allem bei additiver bzw. multiplikativer Verknüpfung in einer Zunahme negativer Effekte gipfeln.<sup>74</sup>

Abkürzung	Kombination	Verknüpfungsart	Beschreibung
KOZ-FAT	1.KOZ 2.FAT	Additiv	Priorität erfolgt durch Addition der getrennt nach der KOZ-Regel und FAT-Regel bestimmten Werte.
COVERT	1.Slack 2.KOZ	Multiplikativ	Die höchste Priorität erhält der Auftrag mit dem größten Quotienten aus Verspätungskostensatz und Bearbeitungszeit.
KOZ / FAT	1.KOZ 2.FAT	Alternativ	Die höchste Priorität erhält der Auftrag der nach der KOZ-Regel berechnet wird, solange der Anfangstermin der Bearbeitung nicht erreicht ist. Ansonsten wird die FAT-Regel initialisiert.

**Tabelle 6:** Kombinierte Prioritätsregeln<sup>75</sup>

<sup>72</sup> Vgl. (Glaser, et al., 1992 S. 194)

<sup>73</sup> Vgl. (Kurbel, 2005 S. 167)

<sup>74</sup> Vgl. (Kistner, et al., 2001 S. 125)

<sup>75</sup> Vgl. (Nebl, 2007 S. 695)

### 2.5.3.2 SPT-Regel (Ein-Maschinen-Problem)

Voraussetzung für die Durchführung der SPT-Regel ist die Erledigung von  $n$  Aufträgen auf genau einer Maschine. Die Auftragsreihenfolge richtet sich nach den kürzesten Bearbeitungszeiten von Aufträgen (Shortest Processing Time bzw. Kürzeste Operationszeit).

$$p_{SPT} = p \implies p = \text{Bearbeitungszeit} \quad (\text{GL}) 22$$

Die Absicht besteht in einer schnelleren Bearbeitung von Materialien, um die Gesamtdurchlaufzeit zu minimieren.<sup>76</sup> Es kann durchaus passieren, dass Aufträge mit längerer Bearbeitungszeit vernachlässigt werden. Eine Kombination mit Regeln, die das Zielkriterium beachtet, kann dem Effekt zuvorkommen.<sup>77</sup>

---

<sup>76</sup> Vgl. (Kiener, et al., 2006 S. 259 ff.)

<sup>77</sup> Vgl. (Jodlbauer, 2008 S. 166)

### 3 Innerbetriebliche Standortplanung

Die innerbetriebliche Standortplanung ist der Bestandteil der Fortsetzung und Integration einer umfangreichen Fabrikplanung. Die Konkretisierung der Rahmenplanung zur Einführung neuer Prozesstechnologien, Planung maschineller Anlagen und vor allem der Kapazitätsplanung sind Kernpunkte der innerbetrieblichen Standortplanung als Konfigurationsplanung.<sup>78</sup> Alle Produktionsmittel werden nach den technischen Anforderungen eines Produktionsprozesses gegliedert. Dabei ist die Layoutplanung mit der Aufgabenstellung einer Produktionsstufe unmittelbar verbunden.<sup>79</sup> Aufgabe der Layoutplanung ist es, Standorte für die Organisationseinheiten auf einer verplanbaren, möglicherweise begrenzt zur Verfügung stehenden Fläche so anzuordnen, dass unterschiedliche Zielsetzungen optimal erfüllt werden.<sup>80</sup>

#### 3.1 Ziele der innerbetrieblichen Standortplanung

Ein grundlegendes Ansinnen der innerbetrieblichen Standortplanung ist die Reduzierung der Kosten über den Gesamtprozess. Daraus leiten sich folgende Zielsetzungen heraus:

Innerbetriebliche Transport-kosten	Zwischenlagerungskosten	Standortwechselkosten
Personalkosten	Personalkosten	Bauänderungskosten
Abschreibungskosten	Abschreibungskosten	Umrüstkosten
Instandhaltungs- und Reparaturkosten	Zinskosten	Einarbeitungskosten
Energiekosten	Energiekosten	Produktionsstörungskosten
Lagerkosten		

**Tabelle 7:** Kosten der innerbetrieblichen Standortplanung<sup>81</sup>

<sup>78</sup> Vgl. (Hoitsch, 1993 S. 232)

<sup>79</sup> Vgl. (Lebefromm, 1997 S. 69ff.)

<sup>80</sup> Vgl. (Jung, 2006 S. 492)

<sup>81</sup> Vgl. (Milling, et al., 1993 S. 80 ff.)

Die Kostenminimierung ist die grundlegendste Zielfunktion der innerbetrieblichen Standortplanung. Es lassen sich neben dieser weitere Zielsetzungen verfolgen:<sup>82</sup>

- Minimierung der Durchlaufzeit der noch zu verarbeitenden Stücke bzw. Teile
- Eine möglichst geringe Liquiditätsbelastung sowie ein hohes Maß an Arbeitssicherheit und eine störungsfreie Produktion
- Übersichtlichkeit von Produktionsstrukturen wie auch die Erleichterung der Kontrolle im Produktionsablauf

### **3.2 Erscheinungsformen der innerbetrieblichen Standortplanung<sup>83</sup>**

Aufgrund unterschiedlichster Ursachen können folgende Gründe für eine innerbetriebliche Standortplanung (Layoutplanung) verantwortlich sein:

#### *Neuplanung*

Die Neuplanung bildet den Grundfall einer Fabrikplanung und ist demzufolge mit einem hohen zeitlichen sowie auch inhaltlichen Planungsvorlauf verbunden. Für die Neuplanung sind Vorgaben zu Produktionsprogramm und -entwicklung unerlässlich, um einen optimalen Standort zu bestimmen. Dabei bewirkt ein hohes Maß des Freiheitsgrades eine optimale Prozesslösung.

#### *Um- und Neugestaltung*

Die Umplanung wird häufig als die betriebliche Daueraufgabe wahrgenommen. Zielsetzung des Ganzen ist die Rationalisierung bzw. Modernisierung verfügbarer Fertigungskomplexe. Vorgaben zum Produktionsprogramm und zur -entwicklung werden dabei benötigt.

#### *Erweiterung bzw. Ergänzungsplanung*

Die Erweiterung ist der Hauptgrund für den Ausbau von Kapazitäten, mit dem Ziel der Modernisierung sowie Rationalisierung. Ein Ausbau führt zur Intensivierung der Flächen- und Raumnutzung am bestehenden Standort. Dies kann unter bestimmten Umständen den gegenwärtigen Standort in Frage stellen.

---

<sup>82</sup> Vgl. (Corsten, 2003 S. 468)

<sup>83</sup> In Anlehnung an (Grundig, 2008 S. 18ff.)

### 3.3 Restriktionen der innerbetrieblichen Standortplanung<sup>84</sup>

Restriktionen sind in diesem Falle Einschränkungen, welche sich vorwiegend auf die Anordnung von Strukturelementen beziehen. Restriktionen sind von der Art und Anzahl der betreffenden Planungsebene abhängig. In die folgenden Gruppierungen können Restriktionen aufgespalten werden:

- Behördliche Restriktionen sind vom Gesetzgeber bzw. von einem Versicherungsträger festgelegt und müssen unbedingt eingehalten werden.
- Betriebliche bzw. bauliche Restriktionen können aufgehoben werden (teilweise mit hohem finanziellen Aufwand verbunden).

<i>Hauptlegende Gründe von Restriktionen</i>		
<i>Sympathien unter anzuordnenden Struktureinheiten</i>	<i>Antipathien zwischen anzuordnenden Struktureinheiten</i>	<i>externe Beziehungen zu Randelementen des umgebenden Systems</i>
Bautechnik (extreme Hallenhöhe oder Fundamente)	gegenseitige Gefährdung (Brennstofflager neben Schweißerei)	materielle, personelle oder informationelle Anbindung nach außen (Bahnschluss, Fluchtweg usw.)
Betriebstechnik (gemeinsame Überkranung, gleiche Emission)	unverträgliche Emissionen (Schmiedepresse neben Messraum)	leichtere Abschottung (bei Lärmbelastung)
Organisation (gemeinsame Leitung)	gegenseitige Behinderung (neue Anlagen, die eventuell später erweitert werden müssen)	Erweiterungen (Freiflächen für Anbau)
Betriebsbedingungen (gleiche Stoff-, Wärme- oder Kühllasten)		

**Tabelle 8:** Gründe von Restriktionen

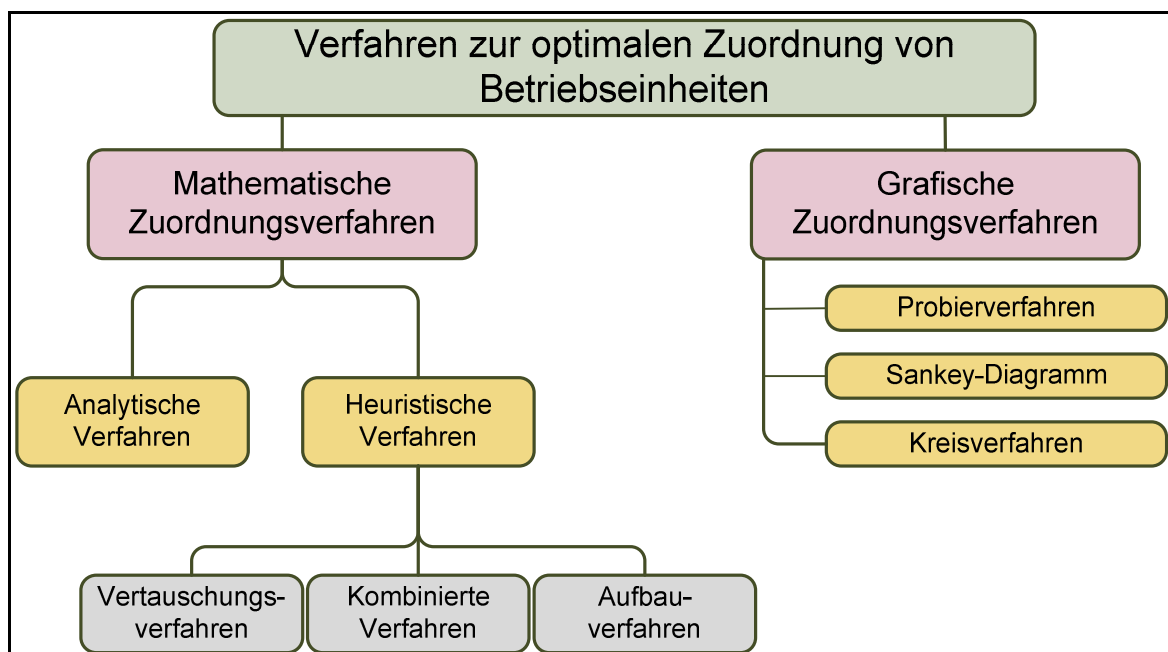
<sup>84</sup> In Anlehnung an (Schneider, et al., 2004 S. 285 ff.)

### 3.4 Lösungsansätze zur innerbetrieblichen Standortplanung

Die Erstellung von Lösungsproblemen für innerbetriebliche Standortprobleme erfolgt i. d. R. in zwei Phasen: Ideal- und Realplanung. Die Idealplanung ist gekennzeichnet durch die „Erarbeitung funktionsbezogener, idealisierter Lösungskonzepte durch Auswahl, Dimensionierung und Anordnungsoptimierung von Funktionseinheiten“.<sup>85</sup> Die Realplanung hingegen berücksichtigt alle Freiheitsgrade und Einschränkungen bzw. Restriktionen.

#### Zuordnungsverfahren

Die Anordnung von Betriebsmitteln bzw. von Objekten vollzieht sich unter Zuhilfenahme von Zuordnungsverfahren. Das Ziel der Anordnung ist es, den Materialfluss zwischen Objekten bzw. Betriebsmitteln optimal zu gestalten. Es gibt eine Reihe verschiedener Verfahren, die zur Verbesserung von umfassenden Materialflüssen in Abhängigkeit des jeweils vorhandenen Planungsfalls existieren. Die Zuordnungsverfahren werden in Planungsphasen eingesetzt, in denen keine Beachtung unterschiedlicher Restriktionen stattfindet.



**Abbildung 13:** Übersicht über Verfahren zur optimalen Zuordnung von Betriebseinheiten<sup>86</sup>

<sup>85</sup> (Grundig, 2006 S. 43)

<sup>86</sup> In Anlehnung an (Kettner, et al., 1984 S. 228)

## Mathematische Zuordnungsverfahren

### *Analytische Verfahren*

Analytische Verfahren stellen durch exakte Rechnung die bestmögliche Lösung für ein vorgegebenes Ziel dar. Ein enormer Rechenaufwand ist für eine geringe Menge von Anordnungsobjekten notwendig.<sup>87</sup> Aus diesem Grunde haben diese Verfahren keine allzu große Bedeutung in der Praxis. Sie eignen sich hauptsächlich bei einer kleinen Anzahl von Anordnungsobjekten von Layoutproblemen. Für komplexere Anordnungsprobleme werden vornehmlich heuristische Verfahren instrumentalisiert.<sup>88</sup>

### *Heuristische Verfahren*

Im Gegensatz zu den analytischen Verfahren verwenden heuristische Verfahren einfache Rechenvorschriften und umgehen somit einen zu aufwendigen Rechenaufwand. Eine mathematisch optimale Lösung wird in der Regel nicht erlangt, es findet lediglich eine Näherung an diese statt.<sup>89</sup> Aufgrund eines allzu hohen Rechenaufwandes bzw. der Unwirtschaftlichkeit anderer Verfahren werden heuristische Verfahren vordergründig bei komplexeren Lösungsproblemen angewendet.<sup>90</sup> Allerdings besteht der Nachteil bei diesen Verfahren darin, dass kein Vergleich zur optimalen Lösung vorliegt. Somit kann nicht gesagt werden, wie gut bzw. schlecht die Lösung vom Optimum abweicht.<sup>91</sup> Die heuristischen Verfahren unterteilen sich in:

- Aufbauverfahren,
- Vertauschungsverfahren und
- kombinierte Verfahren.

- *Aufbauverfahren nach Schmigalla (Konstruktionsverfahren)*

Die aufbauenden Verfahren, basierend auf einer Transportmatrix, beginnen zunächst mit den beiden Betriebsmitteln, zwischen denen die stärksten Flussbeziehungen herrschen. Diese werden auf einem definierten Platz angeordnet. Als Nächstes wird jeweils das Betriebsmittel hinzugefügt, das die stärksten Transportbeziehungen zu

---

<sup>87</sup> Vgl. (Spur, et al., 1994 S. 120)

<sup>88</sup> Vgl. (Milling, et al., 1993 S. 93)

<sup>89</sup> Vgl. (Spur, et al., 1994 S. 120)

<sup>90</sup> Vgl. (Beuermann, et al., 2003 S. 14)

<sup>91</sup> Vgl. (Zimmermann, et al., 2001 S. 150)

den bereits angeordneten hat. Das Ziel ist dann erreicht, wenn der günstigste Transportweg gefunden ist.

- *Vertauschungsverfahren*

Im ersten Schritt geschieht die manuelle Anordnung der Objekte bzw. Betriebseinheiten. Im darauf folgenden Vorgang wird versucht, durch das Vertauschen der Objekte die kürzesten Transportwege zu ermitteln. Das Ziel ist dann erreicht, wenn keine weiteren Kürzungen der Transportwege durchführbar sind.

- *Kombinierte Verfahren*

Beim kombinierten Verfahren wird versucht, die Vorteile des Vertauschungs- und Aufbauverfahrens miteinander zusammenzufassen. Dabei erfolgt im ersten Schritt die Objektanordnung nicht beliebig, sondern das Startlayout wird nach dem Aufbauverfahren erkundet. Anschließend wird das bereits erstellte Startlayout nach dem Vertauschungsverfahren verfeinert bzw. optimiert.<sup>92</sup>

### **Grafische Zuordnungsverfahren**

Grafischen Verfahren liegt keine systematische Vorgehensweise zugrunde. Die Annäherung an die Optimallösung erfolgt durch Probieren und beruht auf Erfahrung. Eine Übersicht der grafischen Zuordnungsverfahren liefert Abbildung 13.

- *Kreisverfahren nach Schwerdtfeger*

Das Kreisverfahren ist die einfachste Methode, um die günstigste Zuordnung zu erhalten. Es erfolgt eine Anordnung der Betriebsmittel auf einem Kreis, bei der die Materialflussbeziehungen durch Verbindungslinien bzw. Pfeile markiert werden. Dabei zeigt die Linienstärke die transportintensivsten Beziehungen zwischen den einzelnen Betriebseinheiten auf. Das Ziel der Umgruppierung bzw. des Veränderns der Anordnung von Betriebseinheiten soll es sein, dass die größten Transportströme nebeneinander liegen. Ebenso sollen transportintensive Beziehungen linienförmig am Kreisumfang angeordnet werden. Das Durchqueren von Beziehungen durch den Kreis soll möglichst vermieden werden.<sup>93</sup> Unter der Einhaltung der Fixpunkte kann dann das Zuordnungslayout, das die geringsten  $t^*$  km enthält, konstruiert werden.<sup>94</sup>

---

<sup>92</sup> (Grundig, 2008 S. 165 ff.)

<sup>93</sup> Vgl. (Grundig, 2008 S. 166ff.)

<sup>94</sup> Vgl. (Martin, 2006 S. 431)



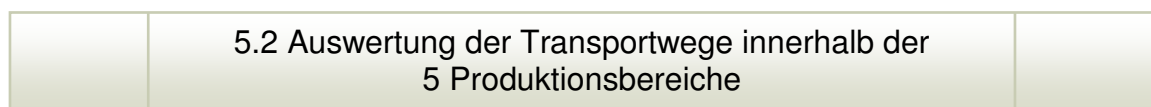
## 4 Betrieblicher Ist-Zustand

### Einleitung

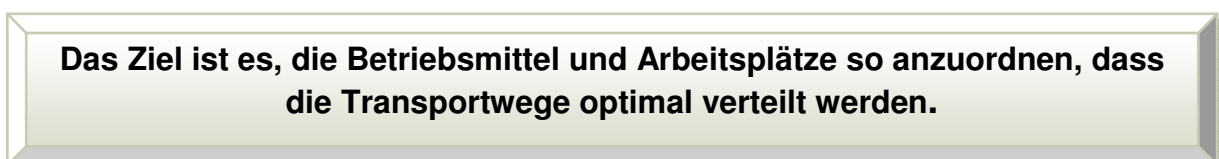
Die folgende Abbildung offeriert einen Überblick über die Vorgehensweise der Kapitel 4-5.



Die Punkte 4 bis 5.1 erzeugen die Grundlage für das Produktionslayout. Die Ermittlung des optimalen Mitarbeiterereinsatzes und der Produktionskapazitäten fungiert als Basis für die Neugestaltung der Arbeitsplatzanordnungen und der Arbeitsplatzgestaltung.

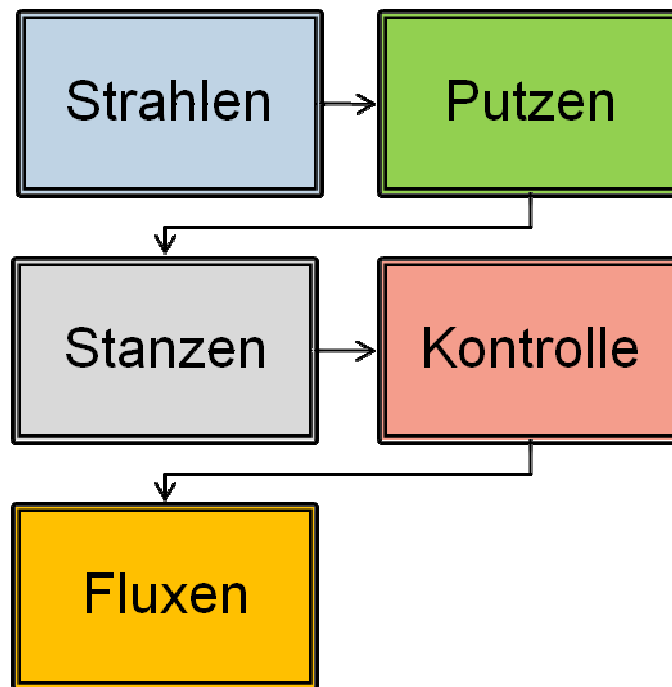


Die Analyse der Transportwege schafft das Fundament zur Optimierung der Materialflüsse innerhalb der Trompetter Guss GmbH.



## 4.1 Bearbeitungsreihenfolge von Ausgleichswellengehäuse (Oberteile)

Der Ablauf der Arbeitsgänge verläuft im Bereich der Ausgleichswellengehäuse für die Oberteile in einer Reihenfertigung. Die Bearbeitungsschritte sind aus diesem Grund strikt einzuhalten und für jeden Auftrag gleich. Die untere Abbildung listet die einzelnen Arbeitsstationen in ihrer Reihenfolge auf.



Reihenfolge von Ausgleichswellengehäuse

Ein Ausgleichswellengehäuse besteht aus zwei Teilen, und zwar aus einem Oberteil (Anlage 2) und einem Unterteil (Anlage 1), wobei das Unterteil extern und das Oberteil intern geputzt wird.

## 4.2 Technologischer Ablauf OT (Oberteile)

### 4.2.1 Strahlen

Das Strahlen (Anlage 4) wird in einer Hängebahnanlage ausgeführt, diese Anlage ist mit Stahlkugeln gefüllt, auf diese Weise wird die Oberfläche des Graugusses vom anhaftenden schwarzen Formsand befreit und die Angüsse abgeschlagen.

Angüsse sind Gussüberreste, die an einem Rohling nach dem Gießen anhaften. Die Hängebahnanlage ist einer von zwei halbautomatischen Prozessen,

bei denen ein Einwirken durch menschliche Arbeitskraft lediglich beim Bestücken und Entnehmen der Oberteile vonnöten ist.

Um die Gussstücke zu strahlen, müssen sie in ein Karussell ein gehangen werden (80 Stück/Vorrichtung), wovon maximal 2 Karusselle pro Strahlvorgang zur Verfügung stehen. Ein Fördersystem bewegt die Karusselle in die Strahlkabine. In ihr wird die Oberfläche des Gussstückes mithilfe der Stahlkugeln entsandet. Die hohe Geschwindigkeit des Strahlmittels, in diesem Falle sind es Stahlkugeln mit einem Durchmesser von 0.2 cm, lösen den anhaftenden Formsand vom Gussstück. Durch den hohen Aufprall werden die Gussstücke zusätzlich verfestigt und bekommen dadurch eine erhebliche Stabilität.

Am Ende dieses Arbeitsganges werden die Oberteile aus der Vorrichtung genommen. Ein Stapler transportiert die gestapelten Teile in einer Gitterbox zum nachfolgenden Arbeitsgang, dem Putzen.

#### **4.2.2 Putzen**

Das Putzen (Anlage 5) ist eine Nachbehandlung der Gussstücke. Die Aufgabe der Arbeiter ist hier, das Gussstück an die Vorrichtung des Stanzgerätes (Matrize) anzupassen. Somit soll vermieden werden, dass es zu Brüchen bzw. zu Rissen an den OT kommt, wenn sie später gestanzt werden. Zum Putzen müssen die Gussstücke aus einer Gitterbox entnommen und anschließend in eine Spannvorrichtung eingelegt werden. Jetzt müssen sie nach einem vorgegebenen Putzmuster an den Außenseiten verputzt und entgratet werden, dieses Muster dient als Orientierung bzw. zeigt auf, welchen Stellen des Stückes besondere Beachtung geschenkt werden muss. Zum Schluss kontrollieren die Arbeiter die Teile auf groben Ausschuss. Es darf kein Anguss oder Formsand an dem Gussstück anhaften. Anschließend werden sie zum nächsten Arbeitsgang befördert.

#### **4.2.3 Stanzen**

Die Stanze (Anlage 3) ist der zweite Vorgang, bei dem ein halbautomatischer Prozess stattfindet. In diesem Arbeitsgang werden die Gussstücke in die Matrize gelegt.

Im darauf folgenden Arbeitsschritt pressen sich die Stanzmesser in die einprogrammierten Positionen der Stanzvorrichtung (Matrize) ein. Auf diese Weise werden die

innerhaftenden Angüsse geschnitten. Nach dem Stanzvorgang greift sich ein Arbeiter die Gussstücke aus der Matrize und stapelt die Gussstücke in eine Gitterbox. Als Letztes transportiert ein Staplerfahrer die Gitterbox in die Kontrolle.

#### **4.2.4 Kontrolle**

In der Kontrolle erfolgt die Prüfung der Gussstücke auf Fehler. Nach einem definierten Fehlerprotokoll bzw. Kontrollmuster werden alle Gussstücke sorgfältig auf Fehler überprüft bzw. kontrolliert. Ist ein Gussstück fehlerhaft, wird es in den Ausschussbehälter gelegt. Gussstücke, die keine Fehler aufweisen, dafür aber nicht richtig verputzt wurden, können hier nachgebessert oder zum Putzer, als Nachbearbeitung, zurückgebracht werden. Nachfolgend werden die Gussstücke in eine Gitterbox gestapelt und zur Rissprüfung befördert.

#### **4.2.5 Rissprüfung (Fluxen)**

Beim Fluxen (Anlage 7) geschieht eine Überprüfung der Gussstücke auf Risse. Risse entstehen unter anderem dadurch, wenn es zur unsachgemäßen Handhabung kommt, zum Beispiel durch das Fallenlassen auf den Boden, beim Abschlagen des Angusses und durch das Stanzen, wenn die Gussstücke nicht sachgemäß in die Matrize eingespannt werden.

Die Risse sind durch das bloße menschliche Auge nicht wahrnehmbar. Folgende Schritte sind zur Erkennung notwendig. Ein Mitarbeiter entnimmt die Gussstücke aus der Gitterbox und legt sie in ein spezielles Prüföl mit Magnetpulver. Nach kurzer Einwirkungszeit bildet sich eine Ölschicht auf dem OT. Anschließend werden die Gussstücke aus dem Prüföl entnommen und unter ein UV-Licht gehalten. Durch das UV-Licht werden alle Risse deutlich sichtbar.

Die Überprüfung bezieht sich nicht ausschließlich auf Risse. Fehlerhafte Gussstücke, welche in der Kontrolle nicht erkannt wurden, werden in der Rissprüfung mit aussortiert. Zum Schluss erfolgt die Weiterleitung der Gussstücke zur mech. Bearbeitung.

## 4.3 Kapazitätsermittlungen

### 4.3.1 Strahlanlage

Die Daten beruhen auf Grundlage der Auswertung und Berechnung vom 01.09.2008-29.09.2008.

Anzahl Maschinen	1
Anzahl MA/Schicht	3
Anzahl Schichten/KW	21
Anzahl Arbeitstage/Jahr	306
Ist-Leistung lt. Analyse Stück/Schicht	1.084
Ist-Leistung lt. Analyse Stück/KW	$1.084 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 21 \text{ Schichten} = 22.764$
Bearbeitungszeiten/Strahlvorgang in Minuten	30 min
Maschinenlaufzeit/Schicht in Stunden	5 Stunden

**Tabelle 9:** Kapazitätsermittlung Strahlanlage

Die Auswertung der Strahlanlage hat ergeben, dass die derzeitigen zu strahlenden Stückzahlen erheblichen Schwankungen ausgesetzt sind (Abbildung 15). Ein kontinuierlicher Arbeitsablauf ist damit nicht gegeben. Die Ursachen der Inkontinuität lassen sich teilweise auf begrenzte Kapazitäten zurückverfolgen. Reparaturarbeiten bzw. Rüstarbeiten sind weitere Ursachen für die unausgefüllte Kapazität. Demzufolge entsteht ein Rückstau, der wiederum die Fertigstellungstermine hinauszögert. Ist ein Vorratspuffer zwischen den einzelnen Bearbeitungsstationen nicht mehr gegeben bzw. das Zwischenpuffer aufgebraucht, vollzieht sich die Umrüstung der Vorrichtungen (Karusselle bzw. Bäume) für den jeweils benötigten Auftrag. Die Zielsetzung ist die Reduzierung von Maschinenstillständen unter den einzelnen Bearbeitungsstationen. Das Verhindern von Kapazitätsengpässen ist natürlich nicht immer möglich, da es immer wieder zu unvorhersehbaren Maschinenausfällen kommen kann und zusätzlich eine Strahlanlage für die gesamte Produktion zur Verfügung steht. Dementsprechend richtet sich der Arbeitsplan nach der Dringlichkeit der Produkte.

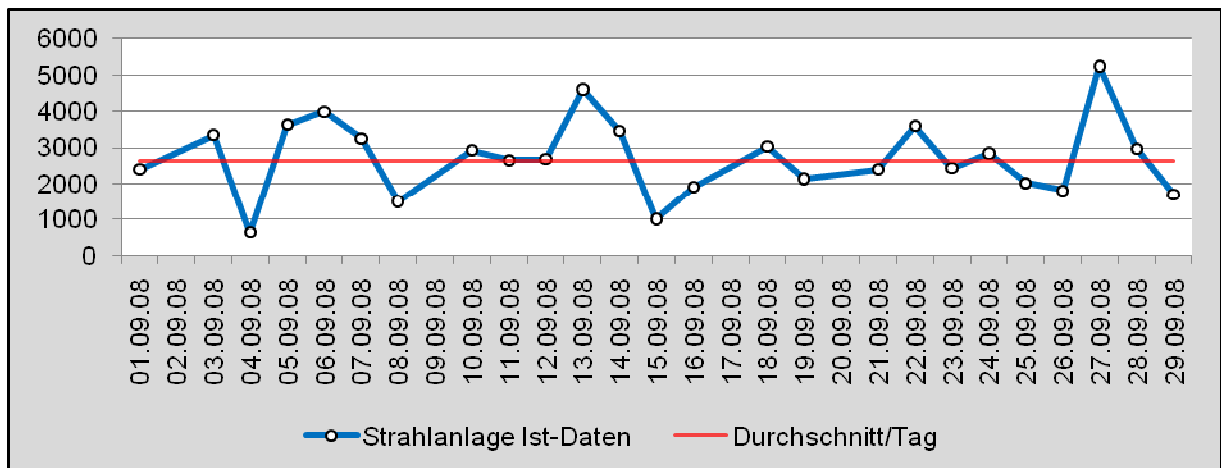


Abbildung 15: Leistungsschwankungen Strahlanlage

### 4.3.2 Putzerei

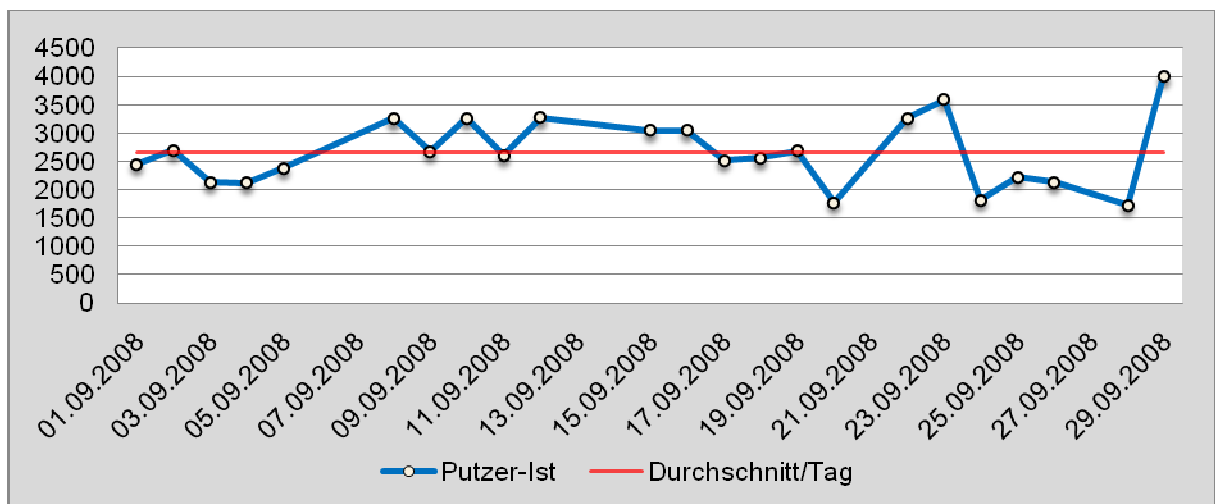
Die Daten fußen auf der Auswertung und Berechnung vom 01.09.2008-29.09.2008.

Anzahl MA/Schicht	3
Anzahl Schichten/Woche	15
Ist-Leistung lt. Analyse in Stück/Schicht	$318 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 3 \text{ Schichten} = 954$
Ist-Leistung lt. Analyse in Stück/KW	$954 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 15 \text{ Schichten} = 14.310$
Ist-Leistung lt. Analyse in Stück/MA	318
Soll-Leistung lt. Leistungsvorg. in Stück/MA	320
Ist-Leistungsgrad in %	$\left(318 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 100\right) \div 320 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} = 99$
Bearbeitungszeit/Stück in Minuten	1,5 min

Tabelle 10: Kapazitätsermittlung Putzerei

Wie aus der Tabelle 10 zu entnehmen ist, liegt die momentane Arbeitsleistung jedes einzelnen Putzers (MA) knapp unter den Leistungsvorgaben (Normen). Die Vorgabezeiten beziehen sich auf einfache arbeitswissenschaftliche Messungen. Es wird unter Verwendung einer Stoppuhr die Leistung pro Stück erfasst und anschließend auf die Arbeitsstunden hochgerechnet. Es existieren leichte Abweichungen zwischen den einzelnen Arbeitern und ihrem täglichen Leistungsvermögen.

Die Abhängigkeit der einzelnen Bearbeitungsstationen untereinander verursacht zum Teil Engpässe in der Produktion. Dabei muss berücksichtigt werden, dass nicht nur Oberteile geputzt werden. Nach Art der Dringlichkeit müssen Produkte mit kleinem Auftragsvolumen zwischendurch bearbeitet werden. Dadurch sollen Auftragsrückstände vermieden werden. Eine höhere Kundenzufriedenheit spiegelt sich dabei wider.



**Abbildung 16:** Leistungsschwankungen Strahlanlage

### 4.3.3 Stanze

Die Daten fokussieren auf die Auswertung und Berechnung vom 01.09.2008-29.09.2008.

Anzahl Maschinen	1
Anzahl MA/Schicht	2
Maschinenkapazität/Schicht	1.800
Anzahl Schichten/KW	15
Anzahl Arbeitstage/Jahr	252
Ist-Leistung Stück/Schicht	1.202
Ist-Leistung Stück/KW	$1.202 \text{ Stück} \cdot 15 \text{ KW} = 18.030$

**Tabelle 11:** Kapazitätsermittlung Stanze

Wie aus Abbildung 17 ersichtlich wird, unterliegt die Stanze verhältnismäßig großen Schwankungen, die sich auf fehlende Oberteile durch die Putzerei zurückführen lassen. Der Tabelle 11 ist zu entnehmen, dass die Ist-Leistung der Stanze 1.202

Stück/Schicht beträgt, und die Tabelle 10 demonstriert, dass im Bereich der Putzerei die Stückzahl lediglich noch bei 954 Stück/Schicht liegt. Es entsteht eine Differenz von 248 Stück/Schicht. In einer Kalenderwoche summiert sich der Rückstand auf 3.720 Stück/KW

$$\left(1.202 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} - 954 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}}\right) \cdot 3 \text{ Schichten} \cdot 5 \text{ Tage} = 3.720.$$

Ein Rückstand von 3.720 Stück/KW bedeutet einen Stillstand von einem Tag im Bereich der Stanze  $3.720 \text{ Stück} > 3.606 \frac{\text{Stück}}{\text{Tag}} \left(1.202 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 3 \text{ Schichten}\right)$ .

Infolgedessen ist ein Arbeitsfluss ständig gestört, und es treten häufige Produktionsstillstände an der Stanze auf. Es passieren Verzögerungen im gesamten Produktionsablauf. Die Durchlaufzeiten verlängern sich, wodurch eine negative Beeinflussung der Fertigstellungstermine abzusehen ist.

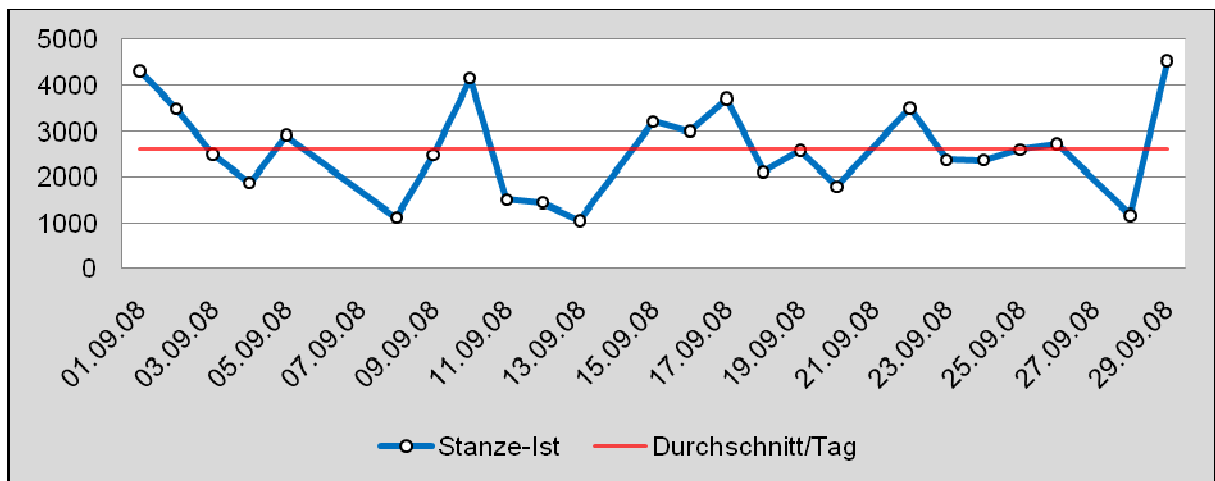


Abbildung 17: Leistungsschwankungen Stanze

#### 4.3.4 Kontrolle

Anzahl Maschinen	3
Anzahl MA/Schicht	3
Anzahl Schichten/KW	15
Anzahl Arbeitstage/Jahr	252
Ist-Leistung Stück/Schicht	$350 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 3 \text{ MA} = 1.050$
Ist-Leistung Stück/KW	$1.050 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 15 \text{ Schichten} = 15.750$

Tabelle 12: Kapazitätsermittlung Kontrolle



Die Kontrolle untersteht dem Bereich der Qualitätssicherung. Diesbezüglich sind keine Leistungsdaten von den jeweiligen Kontrolleuren vorhanden. Eine Kontrolle ist für die Qualitätssicherung verantwortlich und unterliegt Qualitätsschwankungen. Dadurch können keine genauen Daten zur Verfügung gestellt werden. Die o. g. Tabelle bezieht sich auf Vorgaben des Meisters bzw. des zuständigen Mitarbeiters. Eine Annäherung an die tatsächlichen Daten ist hiermit nicht gegeben. Ein weiterer Aspekt ist, dass die Leistungsvorgaben negative Konsequenzen auf die Qualitätskontrolle haben. Leistungsdruck führt zu Nachlässigkeiten, welche negativ die Qualitätskontrolle beeinflussen.

#### 4.3.5 Rissprüfung (Fluxen)

Die Daten basieren auf der Auswertung und Berechnung vom 01.09.2008-29.09.2008.

Anzahl Maschinen	2
Anzahl MA/Schicht	2
Anzahl Schichten/KW	21
Anzahl Arbeitstage/Jahr	306
Ist-Leistung Stück/Schicht	$525 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 2 \text{ Masch.} = 1.050$
Ist-Leistung Stück/KW	$1.050 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 21 \text{ Schichten} = 22.050$

**Tabelle 13:** Kapazitätsermittlung Rissprüfung

Nach den Daten der Abbildung 18 sind im Bereich „Rissprüfung“ keine großen Kapazitätsschwankungen vorhanden. Dies lässt sich damit erklären, dass genügend Vorlauf aus dem Bereich der Kontrolle zur Verfügung gestellt wird. Es entstehen bedingt Störungen bzw. Produktionsstillstände. Diese Störungen resultieren zum Teil aus fehlenden Oberteilen aus dem Bereich der Kontrolle sowie aus Wartungs- bzw. Reparaturarbeiten.

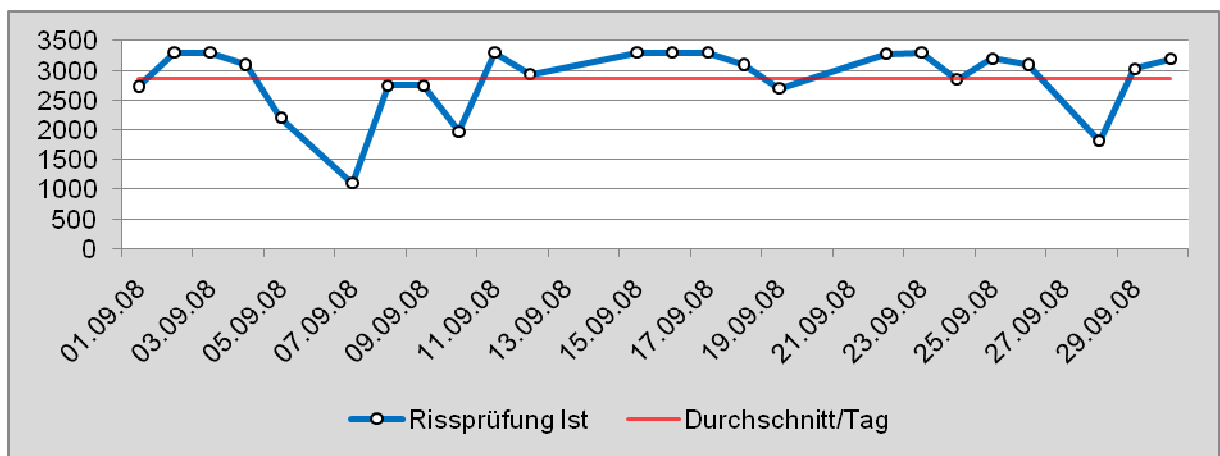
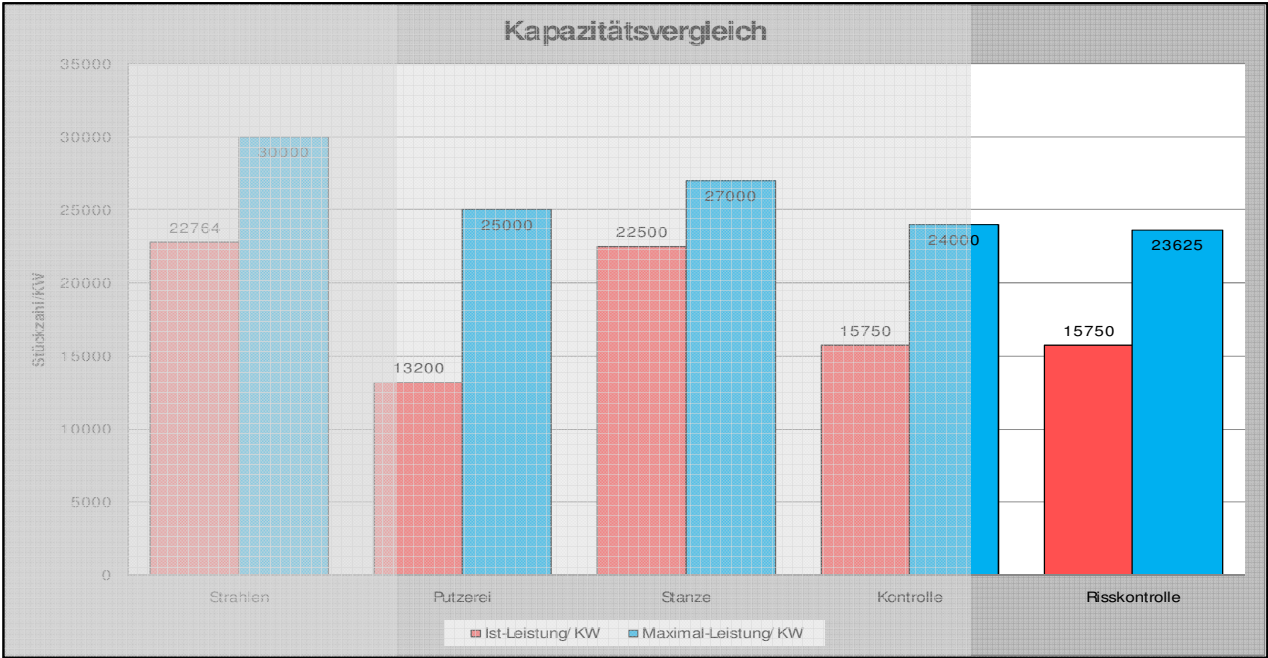
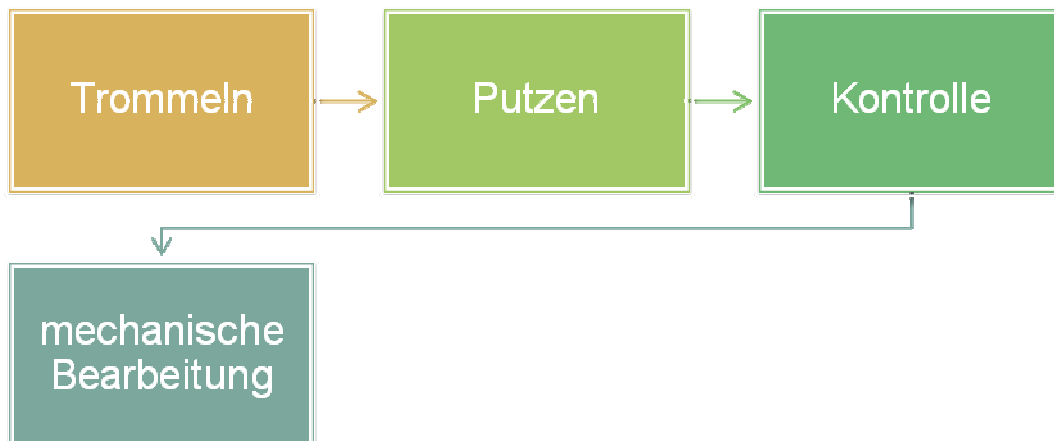


Abbildung 18: Leistungsschwankungen Stanze



ich

## 4.4 Technologischer Ablauf UT (Unterteile)



**Abbildung 20:** Prozessablauf UT

### 4.4.1 Trommeln

Das Trommeln (Anlage 6) wird durch eine Muldenbandanlage übernommen. Der technische Vorgang ist identisch bzw. gleichzusetzen mit einer Hängebahnanlage (Strahlanlage). Der Unterschied liegt darin, dass die Unterteile in einer Trommel gestrahlt werden und nicht in einer Hängebahnanlage. Eine hydraulische Kippeinrichtung befördert die Unterteile aus einer Gitterbox in das Muldenband (Trommel), und während des Strahlvorganges erfolgt das Umwälzen der Teile. Ist der Strahlvorgang beendet, fallen die Gussstücke auf eine Schwingförderrinne. Ein Mitarbeiter kontrolliert die Gussstücke auf Ausschuss und überprüft die Ölkanäle (siehe Anlage).

Die Ölkanäle werden auf Verunreinigungen geprüft, d. h., das Gussstück wird von der Schwingförderrinne entnommen und anschließend eine Kugelprobe durchgeführt (eine Stahlkugel mit einem Durchmesser von 6-7mm). Falls die Kugel den Ölkanal von einem Ende bis zum anderen Ende durchläuft, ist der Ölkanal in Ordnung. Für den Fall, dass eine Kugel im Kanal stecken bleibt, wird der Ölkanal zusätzlich mit einem Fräser gereinigt, und es findet wiederholt ein Kugeltest statt. Ist der Kontrollvorgang beendet, geschieht ein sorgsames Einlegen der geprüften Teile in eine Gitterbox. Ein Staplerfahrer transportiert die gefüllten Boxen zum nächsten Arbeitsgang, dem Putzen, wo sie weiter bearbeitet werden.

#### **4.4.2 Putzen**

Aufgrund der fehlenden Kapazitäten erfolgt das Putzen der Unterteile extern. Die Verputzung der Unterteile passiert auf Grundlage eines Putzmusters, d. h., kritische Stellen bzw. Punkte werden nacheinander abgearbeitet. Nach der Bearbeitung steht die Übergabe zur Kontrolle an, diese wird wieder intern abgewickelt.

#### **4.4.3 Kontrolle**

In der Kontrolle erfolgen jegliche Nacharbeiten, die beim Putzen der Gusstücke nicht berücksichtigt worden sind. Fehlerhafte Gusstücke werden lt. Kontrollmuster aussortiert und in einen Ausschussbehälter gelegt. Die Ausschüsse werden zur Protokollierung erfasst und durch die Qualitätskontrolle ausgewertet. Damit soll der Ausschuss ermittelt werden, welcher den größten Fehleranteil aufweist.

## 5 Lösungskonzept

### 5.1 Maßnahmen zur Zielerreichung

#### 5.1.1 Strahlanlage

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ausführlich der Ist-Zustand analysiert und berechnet. Dabei ist konstatiert worden, dass vorwiegend zwei produktionsrelevante Gussstücke in unterschiedlichen Zeitintervallen gestrahlt werden, nämlich Oberteile und Unterteile. Dementsprechend ist es wichtig, die vorhandenen Kapazitäten an die jeweiligen Soll-Vorgaben anzupassen.

Die Produktion reflektiert dabei auf die Knappheit der jeweiligen Bereiche: Ist ein Puffer an Teilen aufgebraucht, wird, erst nachdem die Putzerei keine Teile zum Bearbeiten hat, wieder neues Material gestrahlt. Folglich entstehen Wartezeiten in den nachfolgenden Bereichen der Strahlanlage. Es ist kein gleichmäßiger Durchlauf im Materialfluss durchführbar, da z. B. die Strahlanlage auch für kurzfristige Auftrags-eingänge bereit sein muss. Ein 4-Schichtsystem ist eine Alternative. Unter den gegenwärtigen Voraussetzungen sind weitere Kapazitätserhöhungen nicht realisierbar. Um die Mindestanzahl an Strahlenvorgängen erbringen zu können, sind bestimmte Parameter notwendig. Dabei stehen folgende Ist-Daten zur Verfügung:

##### 5.1.1.1 Leistungsdaten Strahlanlage

	Ist	Soll
Arbeitstage/Woche	7 Tage	
Anzahl Schichten/KW	21	
Stück/Strahlvorgang	160	
Stück/KW	22.764	20.000
Leistung lt. Analyse in Stück	1.084	952

**Tabelle 14:** Ist/Soll-Vergleich Strahlvorgänge Oberteile

Wie in der oberen Tabelle 14 gezeigt, sollen in Zukunft weniger an Oberteilen gestrahlt werden, um die Zielsetzung zu erreichen. Die Ist-Leistung pro Tag repräsentiert das Maximum an der strahlbaren Stückzahl von Oberteilen. Folglich beträgt die neue Auslastung nur noch 87 %.

Da es allerdings möglich ist, 1.084 Stck./Schicht zu strahlen, kann eine zeitliche Anpassung (Methode1) vorgenommen werden. Um das Ziel von 20.000 Stck./KW durchzusetzen, werden bei der maximalen Anzahl der gestrahlten Teile lediglich noch 18 Schichten pro Kalenderwoche benötigt, das ist eine Reduzierung um einen ganzen Tag. Dies würde eine Kostenersparnis im Personalbereich nach sich ziehen. Das folgende Rechenbeispiel (Tabelle 15) exemplifiziert die Kostenersparnis deutlicher.

Mitarbeiter an der Strahlanlage	3
Schichten pro Tag	3
Stundenlohn in €	8,5
Arbeitsstunden pro Tag	8
Kostenersparnis/Schicht in Euro	$3 \text{ MA} \cdot 8,5 \text{ €/Stunde} \cdot 8 \text{ Arbeitstunden} = 204 \text{ €}$
Kostenersparnis gesamt in Euro	$204 \text{ €} \cdot 3 \text{ Mitarbeiter} = 612 \text{ €}$
Kostenersparnis im Monat in Euro	$612 \text{ €} \cdot 4 = 2448 \text{ €}$

**Tabelle 15:** Personalkosteneinsparung

Eine zeitliche Abstimmung der maximalen Stückzahl an das geforderte Ziel von 20.000 Stck. würde monatlich eine Kostenersparnis von 2.448 € zur Folge haben.

Eine andere Methode, um trotz reduzierter Stückzahl beim Strahlen einen Vorteil zu erlangen, ist das Herabsetzen der eigentlichen Strahlzeit. Im Moment braucht ein Strahlvorgang für Oberteile 30 Min. Die nächste Tabelle erläutert den Weg, um wie viele Minuten ein Strahlvorgang reduziert werden muss, um Kosten einzusparen.

Soll-Leistung in Stück/Tag	4.000
Fehlmenge Soll-Ist-Leistung in Stück/Schicht	$1.333 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} - 1.084 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} = 249$
Vergleich Soll-Ist-Leistung in Strahlvorgänge/Schicht	$249 \text{ Stück} \div 160 \frac{\text{Stück}}{\text{Strahlvorgang}} = 1,56 \sim 2$
Optimaler Strahlvorgang/Schicht	$7 \text{ Strahlvorgänge} + 1,56 \text{ Strahlvorgänge} = 8,56 \sim 9$
Vergleich optimaler Strahlvorgang/Schicht	$8,33 \frac{\text{Strahlvorgänge}}{\text{Schicht}} \approx 8,56 \frac{\text{Strahlvorgänge}}{\text{Schicht}}$
Zusätzliche Strahlzeit in Minuten/Schicht	$1,56 \text{ Strahlvorgänge} \cdot 30 \text{ min} = 47$
Erforderliche Zeitersparnis pro Strahlvorgang in Minuten	$47 \frac{\text{min}}{\text{Schicht}} \div 8 \text{ Strahlvorgänge} = 6 \text{ min}$

**Tabelle 16:** Berechnung der Zeitersparnis pro Strahlvorgang

Jeder Strahlvorgang muss um 6 Minuten verringert werden, um von einem 21-Schichtsystem in der Woche auf ein 15-Schichtsystem herabgesetzt zu werden. Dementsprechend werden weitere Kapazitäten für kleinere bzw. kurzfristige Fertigungsaufträge frei. Die Erhöhung der Strahlvorgänge bewirkt die Aufhebung des 21-Schichtsystems. Deswegen ist es möglich, zusätzliche Kapazitäten freizusetzen, d. h., es können innerhalb der gleich gebliebenen Zeit mehr Oberteile gestrahlt werden. Demzufolge kann eine Kostenersparnis im Personalbereich erzielt werden. Die nachfolgende Tabelle gibt ein Rechenbeispiel.

Mitarbeiter an der Strahlanlage	3
Schichten pro Tag	3
Eingesparte Schichten	$21 \text{ Schichten} - 15 \text{ Schichten} = 6$
Stundenlohn in Euro	8,5
Arbeitsstunden pro Tag	8
Kostenersparnis pro Schicht in Euro	$3 \text{ MA} \cdot 8,5\text{€} \cdot 8 \text{ Stunden} = 204$
Kostenersparnis pro Woche in Euro	$204 \frac{\text{€}}{\text{Schicht}} \cdot 6 \text{ Schichten} = 1.224$
Kostenersparnis pro Monat in Euro	$1.224 \frac{\text{€}}{\text{Woche}} \cdot 4 \text{ Wochen} = 4.896$

**Tabelle 17:** Kostenersparnis im Personalbereich

Im Gegensatz zur Methode 1 ist das Einsparungspotenzial wesentlich höher. Es beträgt 4.896 € im Monat.

#### 5.1.1.2 Wartung/Reparaturen

In bestimmten Intervallen müssen Inspektionen, Reparaturen bzw. Wartungsarbeiten vorgenommen werden. Allerdings handelt es sich hier um einen etwas schwierigeren Fall, d. h., die Maschine befindet sich einem schlechtem Zustand. Eine Generalüberholung ist durchaus eine Alternative. Die rollende Woche im Bereich „Strahlen“ sowie eine ständige Dauerbelastung der Maschine ermöglicht keine ordnungsgerechte Wartung. Deshalb ist es für die Schlosserei nicht immer machbar, größere Wartungsarbeiten durchzuführen. Für eine Generalüberholung stehen nicht genügend Ressourcen zur Verfügung. Das würde den zeitlichen sowie den finanziellen Rahmen überschreiten. Deswegen ersetzen tägliche Kleinreparaturen die Generalüberholung. Das ist zeitlich wie auch finanziell ressourcenschonender.

Ein Kritikpunkt ist, wenn die Hängeseilbahnanlage länger ausfällt und kein Puffer bzw. Vorlauf für die Putzer gegeben ist, könnte es unter Umständen passieren, dass die komplette Produktion, von den Putzern bis zur mech. Bearbeitung, stillsteht und somit ein Auftragsrückstand gebildet wird.



### 5.1.2 Putzerei

Artikel	Oberteile (OT)
Anzahl Maschinen	4
Anzahl MA/Schicht	3
Anzahl Schichten/KW	16
Leistung Gesamt	61.321
Leistung Stück/KW	$(61.321 \text{ Stück}) / (4 \text{ KW}) = 15.330$
Leistung Stück/Schicht	$(15.330 \text{ Stück}) / (16 \text{ Schichten}) = 958$
Leistung Stück/MA	$((958 \text{ Stück/MA})) / (3 \text{ MA}) = 319$

**Tabelle 18:** Ist-Leistung Putzerei

### Ausfallzeiten

Gesamt Minuten	$480 \text{ min} \cdot 193 \text{ MA} = 92.640$
Gesamt Ausfallzeiten in Minuten	6.917,5
Ausfallzeiten Pro Mitarbeiter in Minuten	$\left( \frac{6.917,5 \text{ min}}{193 \text{ MA}} \right) = 36$
Gesamt Ausfallzeiten in %	$\left( \frac{6.917,5 \text{ min} \cdot 100}{92.640 \text{ min}} \right) = 7.5$
Nettoarbeitszeit Gesamt in Minuten	$92.640 \text{ min} - 6.917,5 \text{ min} = 85.722$
Nettoarbeitszeit in %	$((85.722 \text{ min} \cdot 100) / (92.640 \text{ min})) = 92$

**Tabelle 19:** Ausfallzeiten Putzerei

Ein Grund für die Ausfallzeiten (Tabelle 19) ist die Bearbeitung von parallel laufenden Kundenaufträgen wie zum Beispiel Eilaufträge sowie Proben von OT. Die Eilaufträge müssen zwischendurch mit erledigt werden. Ein weiterer Grund sind die Überlappungen in den Arbeitszeiten. Dazu die folgende Übersicht:

Schicht	Arbeitsanfang - Arbeitsende
Frühschicht	6.00 Uhr-14.30 Uhr
Mittelschicht	14.30 Uhr-23.00 Uhr
Nachtschicht	21.30 Uhr-6.00 Uhr

**Tabelle 20:** Schichtplan/Arbeitszeit

Die Überschneidungen zwischen der Mittelschicht und Nachtschicht initiieren den Großteil der Ausfallzeiten (Tabelle 20). In der Zeit von 21.30 Uhr-23.00 Uhr werden den Putzern unterschiedliche Aufgaben zur Zeitüberbrückung zugewiesen.

Somit werden die Leistungsreserven nur zum Teil ausgeschöpft. Anhand der Tabelle 22 werden die Auswirkungen besonders deutlich erkennbar. Durch die Ausfallzeiten steigt die Höhe der fehlenden Stückzahlen auf 24 Stück pro Mitarbeiter in einer Schicht an. Bei drei bzw. vier Putzern summiert sich die Stückzahl schon auf 72 Stück bzw. auf 96 Stück pro Schicht an.

(  $24 \text{ Stück} \cdot 3 \text{ MA} = 72 \text{ Stück}$  bzw.  $24 \text{ Stück} \cdot 4 \text{ MA} = 96 \text{ Stück}$  ).

Auf eine Kalenderwoche gerechnet, bei 5 Tagen die Woche, sind es dann

- $72 \text{ Stück} \cdot 5 \text{ Tage} = 360 \text{ Stück}$
- $96 \text{ Stück} \cdot 5 \text{ Tage} = 480 \text{ Stück}$ .

Mithilfe einer Hochrechnung auf eine Kalenderwoche wird deutlich sichtbar, wie groß die Konsequenzen tatsächlich sind. Die Überschneidung der Mittelschicht und der Nachtschicht haben zur Folge, das 360 Stück bzw. 480 Stück pro KW weniger geputzt werden. Somit konstituiert sich ein zusätzlicher Kostenaufwand. Anhand eines Beispiels wird das Ganze beleuchtet.

### Berechnung des Kostenaufwandes

Fehlende Stückzahl pro KW in Stück	360
Fehlende Stückzahl pro KW in Minuten	$360 \text{ Stück} \cdot 1,5 \text{ min} = 540 \rightarrow 9 \text{ Stunden}$
Fehlende Stückzahl pro KW in Stück <sup>2</sup>	480
Fehlende Stückzahl pro KW in Minuten <sup>2</sup>	$480 \text{ Stück} \cdot 1,5 \text{ min} = 720 \rightarrow 12 \text{ Stunden}$
Arbeitslohn/Stunde in €	8
Kostenaufwand pro KW in €	$9 \text{ Stunden} \cdot 8 \text{ €} = 72$
Kostenaufwand pro KW in € <sup>2</sup>	$12 \text{ Stunden} \cdot 8 \text{ €} = 96$

**Tabelle 21:** Berechnung des Kostenaufwandes

Durch das Neugestalten der Arbeitspläne können Einsparungen in Höhe von 72 € bzw. 96 € pro Kalenderwoche vollzogen werden. Voraussetzung ist die Vermeidung von Überschneidungen zwischen den einzelnen Schichten. Somit würde ein neuer Schichtplan notwendig werden. Folgende Lösungsalternative würde sich anbieten:

Schicht	Arbeitsanfang-Arbeitsende
Frühschicht	6.00 Uhr-14.00 Uhr
Mittelschicht	14.00 Uhr-22.00 Uhr
Nachtschicht	22.00 Uhr-6.00 Uhr

**Tabelle 22:** Schichtplan neu

Arbeitsminuten/MA	$\frac{85.722 \text{ min}}{193 \text{ MA}} = 444$
Arbeitsverlust in Minuten/MA	$480 \text{ min} - 444 \text{ min} = 36$
Bearbeitungszeit/Stück (vorgegeben)	1,5 min
Fehlende Stückzahl/MA	$\frac{36 \text{ min}}{1,5 \text{ min}} = 24$
Bearbeitungszeit/Stück (real)	$\frac{444 \text{ min}}{319 \left(\frac{\text{Stück}}{\text{MA}}\right)} = 1,39$
Bearbeitungszeit/Stück (optimal)	$\frac{480 \text{ min}}{1,39 \left(\frac{\text{min}}{\text{Stück}}\right)} = 345$
Fehlende Stückzahl/MA (real)	$\frac{36 \text{ min}}{1,39 \left(\frac{\text{min}}{\text{Stück}}\right)} \approx 25$
Leistungsgrad in %	$((320 \text{ Stück} + 25 \text{ Stück}) \cdot 100) / 320 \text{ Stück} \approx 108$

**Tabelle 23:** optimale Stückanzahl

Um die Soll-Leistung erfüllen zu können, ist es notwendig, mindestens drei Mitarbeiter zum Putzen von Oberteilen abzustellen, um weitere Kapazitäten aufzubauen, sind drei Mitarbeiter unzureichend. Zwei zusätzliche Mitarbeiter pro Schicht werden zum Putzen benötigt. Liegen die durchschnittlichen Bearbeitungszeiten bei 1,39 min/Stück, ist es denkbar, die Ausbringungsmenge von ca. 20.000 Stück pro Kalenderwoche erreichen zu können (siehe Tabelle 24). Die Voraussetzung dafür ist, dass nur Oberteile und keine anderen Werkstücke geputzt werden.

Bearbeitungszeit/MA in min	1,39
Mitarbeiter/Schicht	4
Leistung/MA in Stück	$\frac{480 \text{ min}}{1,39 \frac{\text{min}}{\text{Stück}}} \approx 345$
Leistung/Schicht in Stück	$345 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 4 \text{ MA} = 1.381$
Leistung/KW in Stück	$1.381 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 15 \text{ Schichten} = 20.715$

**Tabelle 24:** Ausbringungsmenge Putzerei

Bei einer Ausschussquote von ca. 10 % der Werkstücke müssen zusätzliche Gussstücke gegossen werden, und zwar 2.000 Stück/KW. Durch die zusätzliche Erhöhung ist die Zielerreichung nicht möglich  $\Rightarrow 20.715 \frac{\text{Stück}}{\text{KW}} \leq 24.858 \text{ Stück}$ . Eine Verlängerung der Wochenschichten ist eine Handhabung, um die Ausbringungsmenge zu erreichen (siehe Tabelle 25).

Beispiel:

Schichten/KW alt	15
Schichten/KW neu	18
Leistung/Schicht in Stück	1381
Leistung/KW alt in Stück	$1.381 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 15 \text{ Schichten} = 20.715$
Leistung/KW neu in Stück	$1.381 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 18 \text{ Schichten} = 24.858$
Leistungs-Soll in Stück	$22.000 \frac{\text{Stück}}{\text{KW}}$
Leistungs-Ist (alt) in %	$\frac{20.565 \text{ Stück}}{22.000 \text{ Stück}} \cdot 100 = 93,48$
Leistungs-Ist (neu) in %	$\frac{24.678 \text{ Stück}}{22.000 \text{ Stück}} \cdot 100 = 112,17$

**Tabelle 25:** Ausbringungsmenge Alt-Neu

Der Leistungsgrad der Produktion ist auf ca. 12 % angestiegen. Durch die Umstellung der Bearbeitungszeiten sowie der Wochenschichten ist es gelungen, die Ausbringungsmenge erfüllen zu können. Allerdings herrscht die Gefahr,

dass aufgrund von Verkürzung der Bearbeitungszeiten die Qualitätsprobleme zunehmen. Ein anderer Faktor sind die Leistungszuschläge, denn die Bearbeitungszeit ( $T=1,39$  min) errechnet sich aus den Leistungszuschlägen, d. h., jeder Mitarbeiter bearbeitet 5 % mehr Werkstücke als nötig. Wenn diese 5 % Leistungszuschlag nicht mehr berechnet werden und die Bearbeitungszeit von  $t=1,5$  min auf  $t=1,39$  min herabgesetzt werden würde, könnte es unter Umständen passieren, dass sich die Qualität verschlechtert und somit höhere Nachputzarbeiten für die Kontrolle entstehen. Ein anderes Problem ist die Fehlererkennung, d. h., jeder Mitarbeiter entscheidet subjektiv, was ein Ausschuss ist und was kein Ausschuss ist. Dabei gehen unter Umständen wichtige Sekunden bzw. Minuten verloren, die bei der Bearbeitung fehlen. Ein einheitliches Fehlerprotokoll, um die Arbeit bzw. die Kontrolle zu erleichtern und somit den MA zu entlasten, würde das Ganze einschränken und die Entscheidung den Mitarbeitern erleichtern.

### 5.1.3 Stanze

Kapazitätsengpässe liegen nicht vor, wenn man die kritische Menge von 1.800 Stück/Schicht nicht überschreitet und ein störungsfreies Arbeiten gegeben ist.

#### *Kapazitätsauslastung*

Soll-Leistung pro Tag	4.000
Soll-Leistung Stück/Schicht	$(4.000 \text{ Stück/Tag}) / (3 \text{ Schichten}) = 1.333$
Ist-Leistung pro Tag	3.600
Ist-Leistung Stück/Tag	1.200
Leistungsgrad in %	$(3.600 (\text{Stück/Schicht}) / (4.000 (\text{Stück/Tag}))) \cdot 100 = 90$

**Tabelle 26:** Soll/Ist-Kapazitätsvergleich Stanzvorrichtung

Um die benötigte Anzahl erreichen zu können, muss mehr gestrahlt werden, denn nur dann kann die Stanze auf die fehlende Stückzahl zurückgreifen. Wenn aber eine zweite Strahlanlage hinzukommt, kann ein Kapazitätsengpass vermieden werden. Dadurch ist es möglich, die volle Kapazität der Stanze ausnutzen zu können.

### 5.1.4 Kontrolle

Anhand des Soll/Ist-Vergleiches (Tabelle 27) ist es in der jetzigen Situation nicht realisierbar, die Soll-Vorgaben erfüllen zu können. Eine Erhöhung der Belegschaft würde eine Kapazitätserhöhung zulassen. Auch durch die Verlängerung der Schichten pro Kalenderwoche ist die Soll-Ausbringungsmenge zu leisten.

	Ist	Ist-Neu	Ist-Neu <sup>2</sup>	Soll
Schichten	15	15	18	
Anzahl Mitarbeiter	4	5	4	
Auslastung in Stück/MA	250-350	350	350	350
Auslastung in Stück/KW	1.000-1.400	1.750	1.400	1.500
Auslastung in Stück/Schicht	15.000-21.000	26.250	25.200	22.000
Kapazitätsauslastung in %	71-95	120	115	100

**Tabelle 27:** Soll/Ist-Vergleich Kontrolle

Die Erhöhung der Belegschaft resultiert in einer Produktionssteigerung von 20 %. Auch die Erhöhung der Schichten mündet in eine Produktionssteigerung bis zu 15 %. Beide Maßnahmen bewirken, dass es zu einer Produktionssteigerung von 15-20 % ansteigen kann. Die Voraussetzung ist eine Mindestkontrollmenge von 350 Stück/MA bei konstanter Qualität. Die unten besprochenen Beispiele beweisen, dass große Qualitätsschwankungen erhebliche Auswirkungen auf die Produktionsmenge haben. Eine Ursache für Qualitätsschwankungen ist u. a. die Betriebsblindheit. Eine Auswertung der Stichproben hat ergeben, dass bei den Mitarbeitern unterschiedliche Fehler auftreten. Es wurden teilweise Fehler übersehen bzw. vergessen, diese zu kontrollieren, wobei alles im Fehlerprotokoll eindeutig definiert ist. Ein weiteres Motiv ist die hohe Fluktuationsrate. Durch das Ersetzen der Leiharbeiter kommt kein Arbeitsfluss zustande. Neue Leiharbeiter müssen eingearbeitet werden, und dementsprechend wird die kontrollierte Stückzahl nicht erreicht. Die Fluktuation lässt sich teilweise durch Monotonie am Arbeitsplatz bzw. durch Unqualifiziertheit am Arbeitsplatz erklären.

Nachputzarbeiten stellen einen weiteren wichtigen Faktor dar. Durch das unsachgemäße Putzen im Bereich der Putzerei sehen sich die Kontrolleure gezwungen, zusätzliche Feinputzarbeiten vorzunehmen. Dadurch wird unnötig Zeit in Anspruch genommen, die nicht kompensiert werden kann

#### *Beispiel für konstant bleibende Qualität*

Soll-Leistung in Stück/KW	$350 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 4\text{MA} \cdot 15 \text{ Schichten} = 21.000$
---------------------------	---

#### *Beispiel für schwankende Qualität*

Soll-Leistung bei schwankender Qualität in Stück	$250 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 4\text{MA} \cdot 15 \text{ Schichten} = 15.000$
Soll-Leistung bei schwankender Qualität in Stück	$300 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 4\text{MA} \cdot 15 \text{ Schichten} = 18.000$

Eine Stammebelegschaft von Mitarbeitern sowie mehr Eigenverantwortung in der Kontrolle könnten eine Fehlerreduzierung nach sich ziehen. Kurze Pausenintervalle würden die Arbeit entlasten. Die Folge ist, die Konzentrationsfähigkeit nimmt zu, und die Fehlerquote sinkt. Es sollte ein genaues Fehlerprotokoll definiert werden, damit auch Leiharbeiter oder auch Neueinsteiger es schnell erfassen können und die Einarbeitung kurz gehalten wird. Nachputzarbeiten werden nicht mehr durch die Kontrolle übernommen, sondern an die jeweiligen Putzer zurückgegeben, weil die Qualitätssicherung nicht für die Nacharbeiten verschiedener Bereiche zuständig ist.

### **5.1.5 Rissprüfung (Fluxen)**

Im Bereich der Rissprüfung, ist wegen der maximalen Auslastung der Maschinen ein weiterer Kapazitätsausbau nicht möglich. Alle Parameter, welche zur Erhöhung der Kapazitäten notwendig sind, haben ihre Leistungsgrenze erreicht (Tabelle 28). Ein Ausbau des Auftragsvolumens kann durch Anschaffung einer weiteren Maschine behoben werden.

	Ist	Soll
Anzahl Maschinen	2	
Anzahl MA/Schicht	2	
Anzahl Schichten/KW	21 $\Rightarrow$ max.	
Anzahl Arbeitstage/Jahr	306 $\Rightarrow$ max.	
Ist-Leistung Stück/Schicht	$525 \frac{\text{Stück}}{\text{MA}} \cdot 2 \text{ Maschinen} = 1.050$	1.050
Ist-Leistung Stück/KW	$1.050 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \cdot 21 \text{ Schichten} = 22.050$	22.050
Kapazitätsauslastung in %	100	100

**Tabelle 28:** Soll/Ist-Kapazität Rissprüfung (Fluxen)

## 5.2 Produktionslayout

In den vorangegangenen Kapiteln sind hauptsächlich Kapazitäten inspiziert worden. Sie bilden die Grundlage für das Produktionslayout. Diese Voraussetzungen, Ermittlung der Mitarbeiter und Produktionskapazitäten, schaffen eine wichtige Basis für die Neugestaltung der Arbeitsplatzanordnungen und der Arbeitsplatzgestaltung.

Ein Anlass für die Neugestaltung ist der Anbau eines zusätzlichen Umkleideraums für Mitarbeiter. Der jetzige Umkleideraum ist für die Mitarbeiter nicht ausreichend groß genug, infolgedessen muss der Bereich „Kontrolle“ seinen Standort für den Umkleideraum aufgeben. Deswegen bietet es sich an, die Gesamtproduktion etwas näher zu betrachten. Es wäre zu überlegen, ob eine Neugestaltung sinnvoll ist und die Produktionsbereiche enger miteinander verknüpft werden können.

Die Gestaltung der Produktionsbereiche „Putzerei, Kontrolle und der Rissprüfung“ ist gegenwärtig sehr suboptimal platziert. Augenblicklich werden lange Wege in Anspruch genommen, um die Produktion aufrecht zu erhalten. Unter Zuhilfenahme der Grundrisse ist festzustellen, wie sehr die Produktionsbereiche auseinanderliegen. Schwerpunkt der Neugestaltung wird die Verringerung der Wegzeiten und der Durchlaufzeiten sein. Es soll ein störungsfreier Ablauf bewerkstelligt werden. Langfristiges Ansinnen wird es sein, eine höhere Produktivität zu erreichen.

Wie durch das Layout Abbildung 21 aufgezeigt, ist es sehr umständlich, die einzelnen Erzeugnisse zu der weiterverarbeitenden Abteilung zu transportieren. Wegen der festen Anordnung der Maschinen (Strahlanlage, Stanze) wird es nicht



machbar sein, den gesamten Produktionsbereich neu zu gestalten. Dessen ungeachtet müssen trotz allem kurze Verbindungen zur Strahlanlage sowie zur Stanze bestehen. Letztendlich müssen die Fahrwege möglichst gering gehalten werden.

### 5.2.1 Arbeitsplatzanordnungen

Basierend auf dem verfügbaren Raum, müssen die Wirkungsbereiche angemessen angeordnet werden, damit die Mitarbeiter genügend Räumlichkeiten zur Ausführung ihrer Tätigkeit haben. Auf diese Weise soll die gesamte Raumaufteilung ausgenutzt werden.

Besonders die Raumfläche ist verhältnismäßig klein, infolgedessen müssen auch platzsparende Lösungen gefunden werden. Eine Lösung wäre das Modelllager. Das Modelllager ist ein Aufbewahrungsort, in dem sich alle aktuellen sowie alle ausrangierten Modellplatten<sup>95</sup> befinden. Ein Teil des Modelllagers wird als Abstellplatz für die Schlosserei in Anspruch genommen.

Für das Modelllager spricht zum Beispiel:

- die Maschinenplätze sind relativ nah beieinander,
- die Raumaufteilung kann an die jeweiligen Arbeitsplätze angepasst werden,
- ein eigenständiger Produktionsbereich entsteht und würde sich somit auf den Schwerpunkt konzentrieren,
- eine Verkettung von Produktionsprozessen wäre die Schlussfolgerung.

Um dieses Ziel realisieren zu können, muss das gesamte Modelllager leergeräumt und umgelagert werden. Alte Modellplatten<sup>96</sup>, die noch vom Vorbesitzer stammen, dürfen problemlos entsorgt werden.

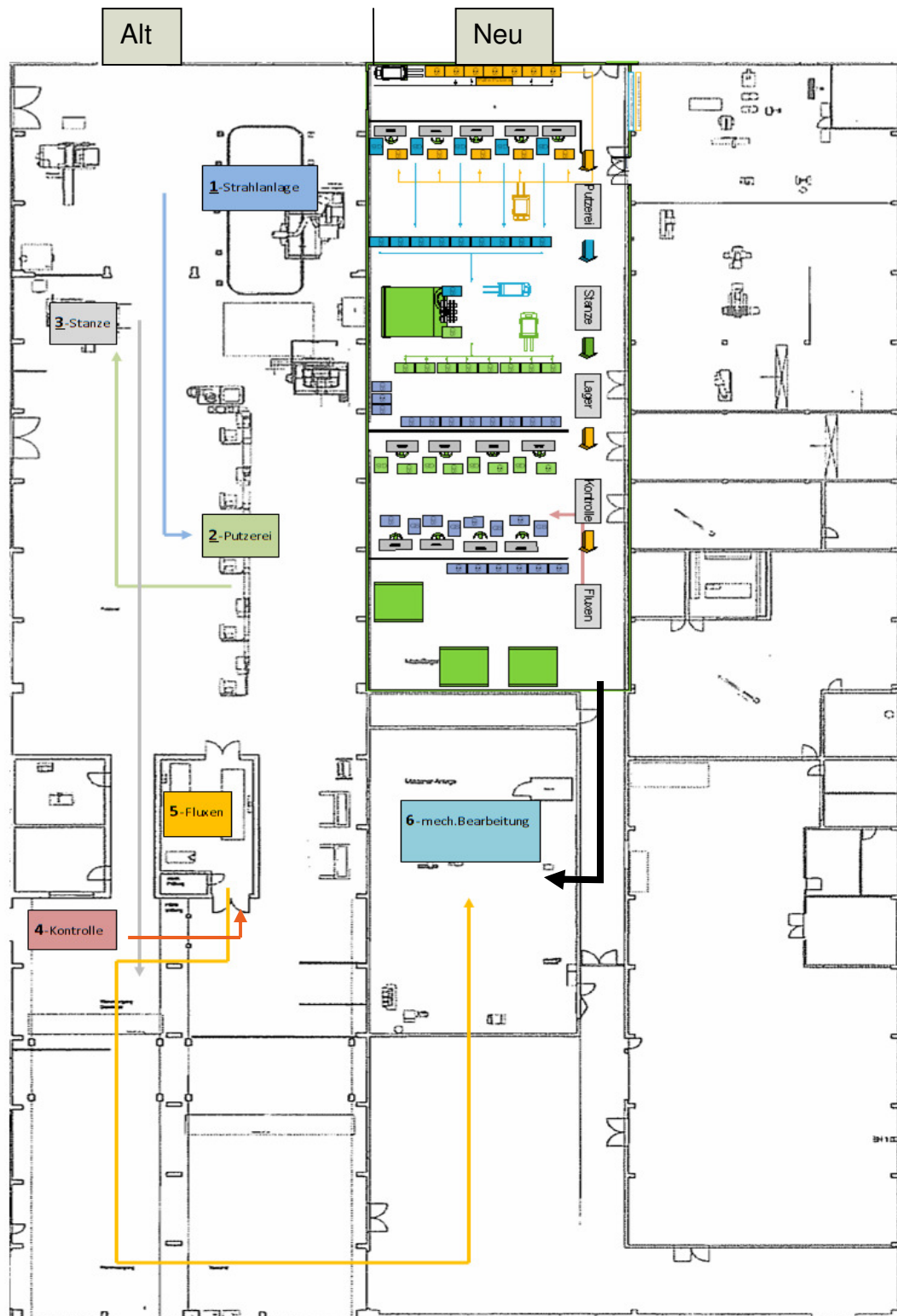
---

<sup>95</sup> Modellplatten sind Formen (siehe Anlage), die für die Produktion der einzelnen Produkte notwendig sind. Sie werden in eine Vorrichtung, in der Gießanlage, gelegt – siehe Beschreibung

<sup>96</sup> Aufgrund gesetzlicher Bestimmungen müssen ältere Modelle, welche sich im Lager befinden und nicht Eigentum der Trompeter GmbH befinden, ca. 10 Jahre aufgehoben werden.

### 5.2.2 Produktionslayout Neu

Das neue Layout soll transparenter und effektiver sein. Dabei ist die Anordnung der Arbeitsplätze von großer Bedeutung. Als neu eingerichteter Produktionsbereich hat sich das Modelllager als günstig erwiesen. Insgesamt steht eine Fläche von ca. 288 qm<sup>2</sup> zur Verfügung. Dabei muss sorgfältig durchdacht werden, wie viel jeder einzelne



alt und neu

Arbeitsplatz an Fläche benötigt. Ausgangspunkt des Prozederes wird die Neugestaltung der Bereiche „Putzerei, Kontrolle sowie Rissprüfung“ sein. Die Abbildung 21 verschafft einen Überblick über das neue Produktionslayout und skizziert die Transportwege.

#### **5.2.2.1 Putzerei**

In der Putzerei werden für die Produktion vier bis fünf Arbeitsplätze benötigt. Das ist von der geforderten Produktionsmenge abhängig.

Es wird eine Arbeitsfläche von ca. 16 m<sup>2</sup> für die Aufstellung der Putztische gebraucht. Eine Aufstellung der Tische nebeneinander ist nicht möglich, weil die Gitterboxen zusätzlich noch Platz einnehmen. Ein Abstand von ca. 50 cm von Tisch zu Tisch muss mindestens eingehalten werden, damit noch genügend Platz für die Aufstellung der Gitterboxen bleibt. Die Platzierung der Gitterboxen erfolgt einmal horizontal und einmal vertikal pro Arbeitsplatz. Eine optimale Ausnutzung der Arbeitsfläche ist der Grund für diese Positionierung. Der Sicherheitsbestand bzw. Vorratspuffer wird in der Nähe der Arbeitsplätze eingerichtet. Hiermit sollen lange Transportzeiten minimiert werden. Als Folge sollen die Durchlaufzeiten gesenkt werden.

#### **5.2.2.2 Kontrolle Oberteile**

Für die Durchführung des Produktionslayouts ist es wichtig, zu wissen, wie viele Arbeitskräfte benötigt werden. Die Anzahl an Mitarbeitern für den Bereich der Kontrolle ist mit 4 Mitarbeitern berechnet worden. Die Ausrichtung der Arbeitstische richtet sich nach der Putzerei, weil es am platzsparendsten und die Auf- und Abnahme von Gitterboxen am einfachsten ist.

Um einen reibungslosen Arbeitsablauf zwischen den Anordnungsobjekten zu erlauben, müssen Materialflussbeziehungen bestehen. Deshalb wird die Kontrolle räumlich nahe der Putzerei angeordnet. Der Aufbau eines Kommunikationsflusses sowie die Verkürzung der Transport- bzw. Wegezeiten ist das Ziel des Ganzen.

#### **5.2.2.3 Kontrolle Unterteile**

Die Kontrolle der Oberteile sowie die Kontrolle der Unterteile befinden sich in einem gemeinsamen Raum. Für eine Trennung der Bereiche gibt es keinen Grund. Eine identische Arbeitsfolge kann einen Ausfall von Arbeitskräften kompensieren.

### 5.2.2.4 Rissprüfung

Durch das neue Werkstattlayout, ist es sinnvoller, die Rissprüfung direkt an die Kontrolle anzukoppeln. Kürzere Transportzeiten sowie ein direkter Zugang zur mechanischen Bearbeitung würden den Materialtransport verringern.

### 5.2.3 Fertigungsform

Obwohl es sich um eine Großserie handelt, eignet sich die Reihenfertigung optimal für die Fertigungssteuerung. Dabei handelt es sich um eine Reihenfertigung ohne Zeitzwang. Jeder der einzelnen Mitarbeiter kann seine Tätigkeit ohne zeitliche Abhängigkeit verrichten. Dabei werden die Pufferstrecken zur Realisierung der optimalen Kapazitätsnutzung eingesetzt. Das Pufferlager soll u. a. das Auftreten von Fehlzeiten bzw. Stillstandszeiten verhindern, um einen reibungslosen Materialfluss zu gewährleisten.

Abbildung 22 dokumentiert die Materialströme zwischen den einzelnen Arbeitsstationen sowie die Materialflüsse im neuen Produktionslayout.

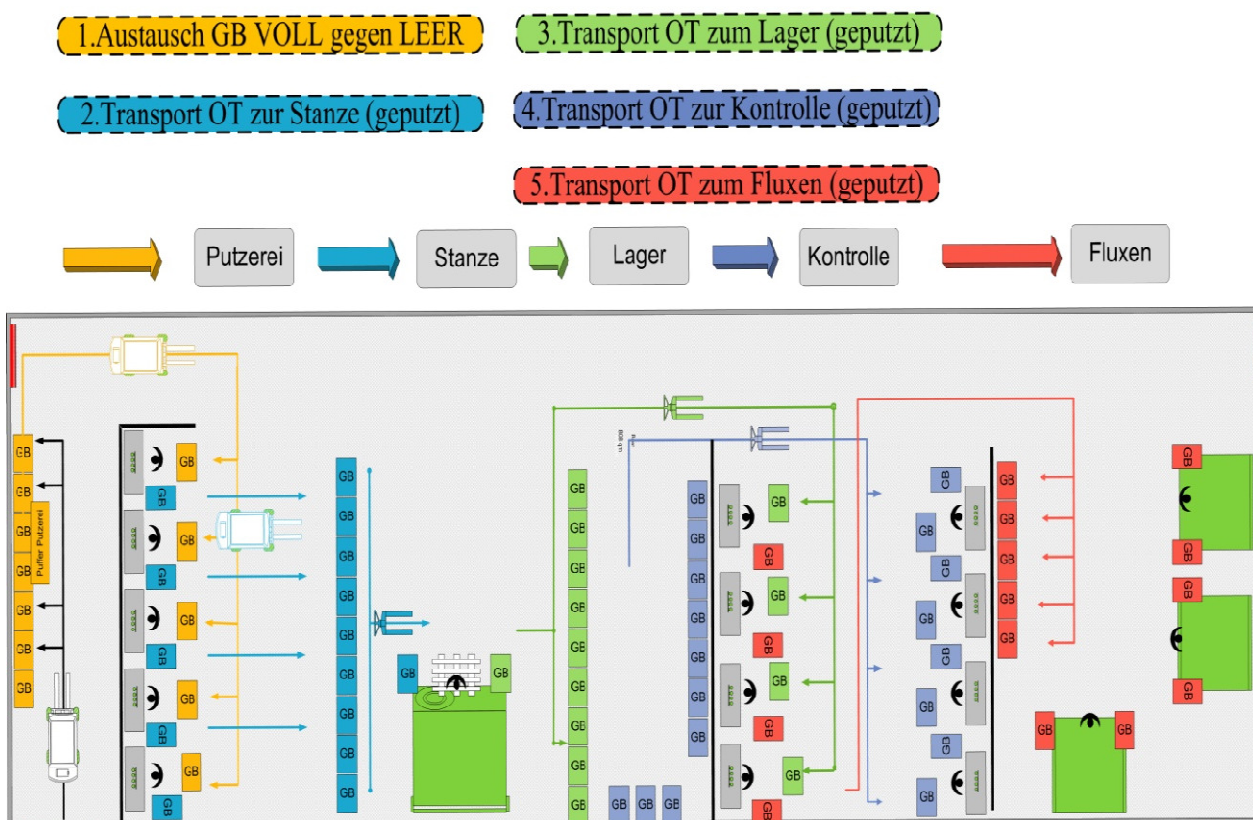


Abbildung 22: Neues Produktionslayout der Abteilung „Putzerei“

### 5.3 Transportwegberechnung

Die Transportwege gewähren einen Überblick über die Entfernung zwischen den vorhandenen Anordnungsobjekten. Auf diese Weise soll identifiziert werden, welche der miteinander verknüpften Bearbeitungsstationen die weitesten Transportwege aufweisen. Die Tabelle 30 vergleicht die Materialflüsse zwischen dem neuen und dem alten Materialstrom bzw. der Transportwege. Daraus wird ersichtlich, dass die alten Transportwege wesentlich höhere Strecken zu durchlaufen haben. Die unten präzierte Transportwegberechnung (Gleichung 23) beweist rechnerisch die Verkürzung der gesamten Transportwege um 50 m.

Transportweg		ALT in Meter	NEU in Meter	
Strahlanlage	⇒	Putzerei	20	30
Putzerei	⇒	Stanze	10	10
Stanze	⇒	Kontrolle	35	20
Kontrolle	⇒	Rissprüfung	10	10
Rissprüfung	⇒	mech. Bearbeitung	70	25
		Gesamtentfernung	145	95

**Tabelle 30:** Transportwegvergleich alt gegen neu

$$\text{Transportweg Alt} - \text{Transportweg Neu} = \text{Transportweg} \quad (\text{GL}) 23$$

$$145 \text{ m} - 95 \text{ m} = 50 \text{ m}$$

Eine Transportwegersparnis von 50 m ist im Einzelnen gesehen nicht viel für den ersten Moment. Wird es aber auf die gesamte Schicht bezogen, so summiert es sich auf 1.289 m (Tabelle 29). Allerdings ist das Ganze nur unter Einbezug der Umschlagshäufigkeit möglich. Anhand der Tabelle 30 ist ersichtlich, wie die Umschlagshäufigkeit jeder Bearbeitungsstation aussieht. Dabei errechnet sich die Umschlagshäufigkeit nach der Gleichung 24. Die Gesamtumschlagshäufigkeit addiert sich auf 25.

Transportweg/Schicht in Meter	$50 \text{ m} \cdot 25,78 = 1.289 \text{ m}$
Transportweg/Tag in Meter	$1.289 \text{ m} \cdot 3 \text{ Schichten} = 3.867 \text{ m}$
Transportweg/KW in Meter	$3.867 \text{ m} \cdot 5 \text{ Tage} = 19.335 \text{ m}$
Transportweg/Jahr in Meter	$3.867 \text{ m} \cdot 251 \text{ Tage} = 970.617 \text{ m}$

**Tabelle 29:** Transportweghochrechnung

$$\text{Umschlagshäufigkeit} = \frac{\text{Leistungsgrad in Stück}}{\frac{\text{Schicht}}{MA}} \div \emptyset \text{ Gitterboxbestand} \quad (\text{GL}) 24$$

Putzerei/MA	$\frac{320 \left( \frac{\text{Stück}}{MA} \right)}{224 \left( \frac{\text{Stück}}{GB} \right)} = 1,43$	$1,43 \cdot 5 MA = 7,15$
Stanze/Schicht	$\frac{1.202 \left( \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}} \right)}{224 \left( \frac{\text{Stück}}{GB} \right)} = 5,37$	$5,37 \cdot 1 \text{ Maschinen} = 5,37$
Kontrolle/MA	$\frac{350 \left( \frac{\text{Stück}}{MA} \right)}{224 \left( \frac{\text{Stück}}{GB} \right)} = 1,56$	$1,56 \cdot 4 MA = 6,24$
Rissprüfung/Maschine	$\frac{525 \frac{\text{Stück}}{\text{Schicht}}}{224 \frac{\text{Stück}}{GB}} = 2,34$	$2,34 \cdot 3 \text{ Maschinen} = 7,02$
Umschlagshäufigkeit gesamt pro Schicht		25,78

**Tabelle 30:** Umschlagshäufigkeit der Bearbeitungsstationen

## 6 Einschätzung und Bewertung

Bewertung der Möglichkeiten zur Steigerung der Produktivität im Bereich der Putzerei.

### Strahlanlage

#### *Variante 1: Verkürzung der Schichtzeiten*

In Kapitel 5 wurden die Schichtzeiten verkürzt. Hierbei ist festgestellt wurden, dass die Ist-Kapazität die tatsächliche Soll-Kapazität übersteigt. Aus diesem Anlass wurden die wöchentlichen Schichten von 21 auf 18 reduziert. Allerdings sind die Ausschüsse nicht berücksichtigt worden. Erfolgt die Involvierung der Ausschüsse (5-10 %), so ist die Verkürzung der Schichtzeiten nicht möglich.

	Ist	Soll-Alt	Soll-Neu
Ausschuss in %	0		10
Arbeitstage/Woche	7 Tage		7
Anzahl Schichten/KW	21		21
Stück/KW	22.764	20.000	22.000

**Tabelle 31:** Vergleich Ist/Soll-Strahlvorgänge Oberteile mit Beachtung von Ausschüssen

Wie anhand der Tabelle deutlich wird, beträgt die neue Soll-Kapazität keine 20.000 Stück/KW, sondern unter Berücksichtigung der Ausschüsse 22.000 Stück/KW. Auf diese Weise kann der Aufhebung bzw. Kürzung der Schichten nicht Folge geleistet werden.

#### *Variante 2: Reduzierung der Strahlzeiten*

Im Gegensatz zur Variante 1, die sich auf die Verkürzung der Schichtzeiten bezog, behandelt die Methode 2 die Reduzierung der Strahlzeiten. In diesem Zusammenhang muss gesagt werden, dass das Herabsetzen der Strahlvorgaben sich negativ auf die Strahlqualität (auf den Verschmutzungsgrad) niederschlägt, d. h., jede Minderung der Strahlzeiten verschlechtert die Oberflächen der Oberteile. Dieses hat den Effekt, dass die Putzer mehr Zeit zum Putzen der Oberteile benötigen. Ein

zweites Problem stellt die graue Oberfläche selbst dar, die verunreinigten Oberteile müssen zusätzlich nachgestrahlt werden. Das hat wiederum zur Folge, dass unnötige Mehrarbeit entsteht und somit zusätzlich freie Ressourcen erforderlich sind.

## **Putzerei**

### *Variante 1: Veränderung der Arbeitszeiten*

Die Veränderung der Schichtzeiten, in diesem Falle die Verhinderung der Überlappung der Arbeitszeiten, ist ein probates Mittel, um zusätzliche Ressourcen zu optimieren. Jedoch ist es nicht realistisch, die Schichten so anzureihen, dass ein homogener Schichtwechsel entsteht. Aus finanzieller Sicht erscheint dies natürlich marginal. Die Nettoarbeitszeit beträgt 8 Stunden zzgl. 30 min Pause. Es ist somit zeit- und kostenintensiver, die Arbeitszeiten umzuändern, folglich entstehen Kosten für die Bezahlung der Pausenzeiten durch die Neugestaltung der Schichtzeiten.

### *Variante 2: Erhöhung der Kapazitäten durch zwei zusätzliche Mitarbeiter*

Die Aufstockung von zwei Mitarbeitern ist wesentlich effektiver als die Veränderung von Arbeitszeiten. Wie in Kapitel 5 erwähnt, wird nicht nur die Soll-Kapazität erfüllt, es entstehen diesbezüglich außerdem freie Ressourcen, die u. a. für weitere Aufträge zur Verfügung stehen.

## **Stanze**

Die Stanze weist keine Kapazitätsgrenzen auf. Die Kapazitätserfüllung ist abhängig von dem gegebenen Puffer der Strahlanlage. Für das Erreichen der Sollvorgaben existiert genügend Potenzial.

## **Kontrolle**

### *Variante 1: Anhebung der Kapazitäten durch die Einstellung eines Mitarbeiters*

Die Einstellung eines Mitarbeiters bedingt u. a., dass die Kapazitätsvorgaben ausreichend erfüllt werden können sowie weitere Reserven zur Verfügung stehen. Engpassprobleme sind unter diesen Umständen nicht möglich.

### *Variante 2: Anhebung der Schichten*

Das Erhöhen des Schichtsystems (von 15 auf 18 Schichten) sorgt für das Aufstocken der Ist-Kapazitäten. Das zusätzliche Anheben der Schichten hat zur Folge, dass die



Wochenarbeitszeiten von 5 Tagen auf 6 Tage ansteigen, daraus resultiert, dass die Belastung für jeden einzelnen Mitarbeiter rapide anwächst. Dies könnte verursachen, dass es zu Übermüdigkeit wie auch zu gesundheitlichen Problemen der Mitarbeiter kommt. Somit würde sich dies negativ auf die Produktion ausdrücken.

### **Rissprüfung (Fluxen)**

Die Anschaffung einer zusätzlichen Maschine ist eine sinnvolle Aktion, um Kapazitätsproblemen vorzubeugen. Es entstehen weitere freie Kapazitäten, die zur Verfügung stehen. Ein Abbau der Schichten ist unter diesen Umständen sinnvoll (von 21 Schichten auf 15 Schichten). Kapazitätsanpassungen können jederzeit vonstattengehen.

### **Produktionslayout**

Die Erarbeitung eines neuen Layouts führt zur Reduzierung der Transportwege. Bei einer Umschlagshäufigkeit von 25 ist die Verkürzung der Transportwege sehr positiv zu sehen, d. h. in kürzeren Zeitabständen findet ein schneller Umtausch zwischen den jeweiligen Arbeitsstationen statt. Durch das kompakte und übersichtliche Layout erfolgt eine bessere Kommunikation zwischen allen Bearbeitungsstationen. Die Durchlaufzeit der Oberteile vermindert sich, durch die sehr kurzen Wege. Es ist davon auszugehen, dass die Verkürzung der Durchlaufzeiten eine höhere Produktivität als vorher aufweist, allein wegen der Tatsache, dass sich die Transportzeiten reduziert haben.

## 7 Ausblick

Alle Verbesserungsvorschläge sind wertlos, wenn die Kapazitätsmengen inkonstant geschehen bzw. nicht eingehalten werden können. Diese Kapazitätsvorgaben sind Voraussetzung für das Erstellen von Lösungsvarianten im Bereich der Abteilung „Putzerei“. Sollte ein erhöhter Kapazitätsbedarf nur kurzfristig sein, so ist die Erhöhung der Mitarbeiterzahl nicht sinnvoll, zumindest längerfristig gesehen. Kapazitätsüberlastungen, die einen kurzen Verlauf nehmen, können durch Überstunden, Springereinsatz und Zusatzschichten zeitweise überbrückt werden. Es ist allerdings sinnvoll, zu überlegen, eine neue Strahlanlage anzuschaffen. Ein weiteres Indiz sind die unplanmäßigen Maschinenausfälle, die in regelmäßigen Zeitabständen auftreten. Es ist äußerst unwirtschaftlich, ständig kostenintensive Reparaturen durchzuführen.

Sollten dennoch die geplanten Produktionsmengen, und zwar von 20.000 Stück bzw. 22.000 Stück (inklusive Ausschuss 10 %) als Maßstab herangezogen werden, so sind weitere Mitarbeitereinstellungen sinnvoll, im Bereich „Putzer und Kontrolle“. Die Reduzierung der Strahlzeiten (Strahlanlage) sowie die Verkürzung der Bearbeitungszeiten (Putzer) sind keine wirklichen Alternativen. Die Qualität ist ein wichtiger Faktor für die Kundenzufriedenheit. Da ungefähr 60 % der Bearbeitung manuell erfolgt (zum Teil Strahlanlage, Putzer, Kontrolle, Rissprüfung), sind Optimierungen äußerst schwierig zu tätigen.

Das neue Produktionslayout erscheint hingegen sinnvoll. Es entsteht ein eigener Produktionsbereich für AWG, womit eine höhere Übersichtlichkeit wie auch eine Transportwegreduzierung gegeben ist. Allerdings ist das nicht nur zeit- und kostenintensiv, sondern zukunftsicher, d. h., besteht die Gefahr, dass die AWG in absehbarer Zeit eingestellt werden, so ist das Produktionslayout keine sinnvolle Überlegung bzw. eine Fehlinvestition.

## VII. Glossar

### **Ausgleichswellen:**

dienen dazu, die freien Massenkräfte eines Hubkolbenmotors zu reduzieren oder zu beseitigen, um das Betriebsgeräusch und Vibrationen zu reduzieren. Dazu werden Unwuchten (exzentrische Gewichte) an der Ausgleichswelle angebracht. Die dadurch erzeugten Massenkräfte wirken denjenigen des Kurbeltriebs entgegen. Die Ausgleichswellen werden durch Zahnräder, Ketten oder Zahnriemen von der Kurbelwelle synchron angetrieben. Je nach Motorbauart verwendet man meist eine oder zwei Ausgleichswellen, die mit einfacher oder doppelter Kurbelwellendrehzahl laufen.

### **Anguss:**

ist beim Sandguss und beim Spritzgießen von Metall und Kunststoff der Teil des Spritzlings, welcher nicht zum Formteil gehört. Er entsteht durch die in den Zuführungskanälen zur Gießform erstarrte Schmelze und sollte möglichst wenig Gewicht haben, um Abfall zu vermeiden.

**Strahlen** ist eine Oberflächenbearbeitung, bei der Strahlmittel mit hoher Geschwindigkeit (bis zu 120 m/sec) auf die Werkstücke gelenkt werden. Als Trägerenergie stehen **Druckluft**, Druckflüssigkeiten oder Schleuderräder zur Verfügung. Das Strahlergebnis hängt neben verschiedenen Maschinentypen und Einstellungsparametern im Wesentlichen von der Art des ausgewählten Strahlmittels ab.

## VIII. Literaturverzeichnis

**Adam Dietrich** Produktions-Management [Buch]. - [s.l.] : Gabler Verlag, 1998. - Bd. 9.

**Beuermann Günter, Ellinger Theodor und Leisten Rainer** Operations Research [Buch]. - Heidelberg: Springer Verlag, 2003. - Bd. 6.

**Buer Lars** Supply-Chain-Management im deutschen Mittelstand: Grundlagen und empirische Analyse [Buch]. - Norderstedt: Books on Demand, 2003.

**Corsten Hans** Produktionswirtschaft:Einführung in das industrielle Produktionsmanagement [Buch]. - München: Oldenbourg, 2007. - Bd. 11.

**Corsten Hans** Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2003. - Bd. 10.

**Domschke Wolfgang, Scholl Armin und Voß Stefan** Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte [Buch]. - Berlin: Springer Verlag, 1997. - Bd. 2.

**Dürr Walter und Kleibohm Klaus** Operations Research: Lineare Modelle und ihre Anwendungen [Buch]. - München: Hanser Fachbuchverlag, 1992. - Bd. 3.

**Dyckhoff Harald und Spengler Thomas** Produktionswirtschaft: Eine Einführung für Wirtschaftsingenieure [Buch]. - Berlin: Springer Verlag, 2004.

**Gienke Helmuth und Kämpf Rainer** Handbuch Produktion: Innovatives Produktionsmanagement: Organisation, Konzepte, Controlling [Buch]. - München, Wien: Hanser, 2007.

**Glaser Horst, Geiger Werner und Rohde Volker** PPS. Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Konzepte, Anwendungen [Buch]. - München: Hanser Verlag, 1992. - Bd. 2.

**Grundig Claus-Gerold** Fabrikplanung: Planungssystematik – Methoden – Anwendungen [Buch]. - München, Wien: Hanser, 2008. – Bd. 3.

**Grundig Claus-Gerold** Fabrikplanung: Planungssystematik – Methoden – Anwendungen [Buch]. - München, Wien: Hanser, 2006. – Bd. 2.

**Günther Hans-Otto und Tempelmeier Horst** Produktion und Logistik [Buch]. - Heidelberg: Springer Verlag, 2005. - Bd. 6.

**Härdler Jürgen** Materialmanagement [Buch]. - München: Carl Hanser Verlag, 1999.

**Hoitsch Hans-Jörg** Produktionswirtschaft [Buch]. - München: Vahlen, 1993. – Bd. 2.

**Holland Heinrich** Grundlagen der Statistik: Datenerfassung und -darstellung, Maßzahlen, Indexzahlen, Zeitreihenanalyse [Buch]. - Wiesbaden: Gabler Verlag, 2006.

**Jehle Egon, Müller Klaus und Bergisch Michael** Produktionswirtschaft [Buch]. - Heidelberg: Verlag Recht und Wissenschaft, 1990. - Bd. 3.

**Jodlbauer Herbert** Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung [Buch]. - Springer Verlag: Berlin, 2008. - Bd. 2.

**Jodlbauer Herbert** Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung [Buch]. - München: Springer Verlag, 2007.

**Jung Hans** Allgemeine Betriebswirtschaftslehre [Buch]. - München: Oldenboerg Verlag, 2006. - Bd. 10.

**Kettner Hans, Schmidt Jürgen und Greim Hans-Robert** Leitfaden der systematischen Fabrikplanung [Buch]. - München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1984.

**Kiener Stefan, Maier-Scheubeck Nicolas und Weiß Manfred** Betriebliche Leistungserstellung: Grundlagen und Übungsaufgaben [Buch]. - Regensburg: CH-Verlag, 1990. - Bd. 3.

**Kiener Steffan [et al.]** Produktions-Management: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2006. - Bd. 8.

**Kistner Klaus-Peter und Steven Marion** Produktionsplanung [Buch]. - Heidelberg: Physica Verlag, 2001. - Bd. 3.

**Köbernig Gunnar** Schwerpunkt Logistik.

**Koether Reinhardt** Taschenbuch der Logistik [Buch]. - München: Carl Hanser Verlag, 2008. - Bd. 3. Auflage.

**Kurbel Karl** Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management [Buch]. - München: Oldenbourg, 2005. - Bd. 6.

**Kurbel Karl** Produktionsplanung und -steuerung: Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 1998. - Bd. 3.

**Lebefromm Uwe** Produktionsmanagement: Einführung mit Beispielen aus SAP R/3 [Buch]. - München, Wien: Oldenbourg, 1997. - Bd. 3.

**Lödding Hermann** Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration [Buch]. - München: Springer Verlag, 2008. - Bd. 2.

**Luczak Holger** Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen, Gestaltung und Konzepte [Buch]/Hrsg. Eversheim Walter. - Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2001. - Bd. 2.

**Luger Adolf, Geisbüsch Hans-Georg und Neumann Jürgen M.** Allgemeine Betriebswirtschaftslehre [Buch]. - München, Wien: Hanser, 1999. - Bd. 4.

**Martin Heinrich** Transport- und Lagerlogistik: Planung: Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik [Buch]. - Hamburg: Vieweg+Teubner, 2006. – Bd. 6.

**Milling Peter und Zäpfel Günther** Betriebswirtschaftliche Grundlagen moderner Produktionsstrukturen [Buch]. - Berlin: NWB Verlag, 1993.

**Morlock Martin und Neumann Klaus** Operations Research [Buch]. - München: Hanser Fachbuchverlag, 2002. - Bd. 2.

**Nebi Theodor** Produktionswirtschaft [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2007. - Bd. 6.

**Nebi Theodor** Produktionswirtschaft [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2004. - Bd. 2.

**Neumann Klaus** Produktions- und Operations-Management: Produktionsplanung, Produktionssteuerung, Produktionskontrolle [Buch]. - Berlin: Springer Verlag, 1996.

**Plümer Thomas** Logistik und Produktion: Managementwissen für Studium und Praxis [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2003.

**REFA Verband für Arbeitsstudien u. Betriebsorganisation e.V.** Methodenlehre der Betriebsorganisation – Planung und Steuerung Teil 2 [Buch]. - München, Wien: Hanser, 1991.

**Schiemenz Bernd und Schönert Olaf** Entscheidung und Produktion. Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2005. - Bd. 3.

**Schneeweiß Christoph** Einführung in die Produktionswirtschaft [Buch]. - Berlin: Springer Verlag, 2002. - Bd. 8.

**Schneider Herfried, Buzacott John A. und Rücker Thomas** Operative Produktionsplanung und -steuerung [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2004. - Bd. 1.

**Schulte Gerd** Material- und Logistikmanagement [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2001. - Bd. 2.

**Spur Günther und Stöferle Theodor** Handbuch der Fertigungstechnik 6. Fabrikbetrieb [Buch]. - München: Hanser Buchverlang, 1994.

**Steven Marion** BWL für Ingenieure [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2008. - Bd. 3.

**Vahrenkamp Richard** Produktionsmanagement [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 2000. - Bd. 4.

**Vahrenkamp Richard** Produktionsmanagement [Buch]. - München: Oldenbourg Verlag, 1998. - Bd. 3.

**Wiendahl Hans Peter** Betriebsorganisation für Ingenieure [Buch]. - München: Hanser Verlag, 2005. - Bd. 5.

**Zelewski Stephan, Hohmann Susanne und Hügens Torben** Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme – Konzepte und exemplarische Implementierungen mithilfe von SAP R/3 [Buch]. - München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2008.

**Zimmermann Werner und Stache Ulrich** Operations Research: Quantitative Methoden zur Entscheidungsvorbereitung [Buch]. - München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2001. - Bd. 10.

## Internetquellen

### Breyer

[www.fho-emden.de](http://www.fho-emden.de).

[http://www.fho-](http://www.fho-emden.de/~breyer/Statistik/Skript/Kurz%fcbersichten%20zum%20Skript/Zeitreihenanalyse%20%28Kurz%fcbersicht%29.pdf)

[emden.de/~breyer/Statistik/Skript/Kurz%fcbersichten%20zum%20Skript/Zeitreihenanalyse%20%28Kurz%fcbersicht%29.pdf](http://www.fho-emden.de/~breyer/Statistik/Skript/Kurz%fcbersichten%20zum%20Skript/Zeitreihenanalyse%20%28Kurz%fcbersicht%29.pdf) [Online]

### Tautenhahn Lutz

[www.lutanho.net](http://www.lutanho.net) [Online]. - 1998

<http://www.lutanho.net/plt/engpass.html>.

## Lose Blattsammlung

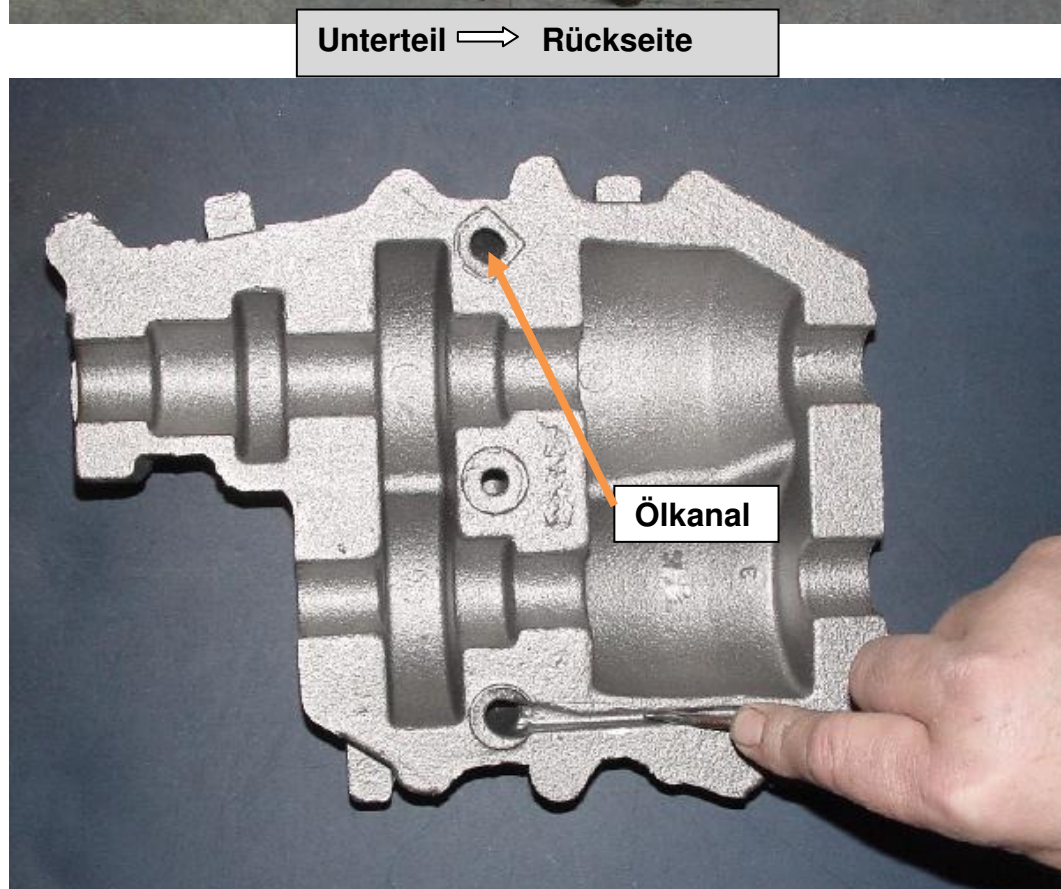
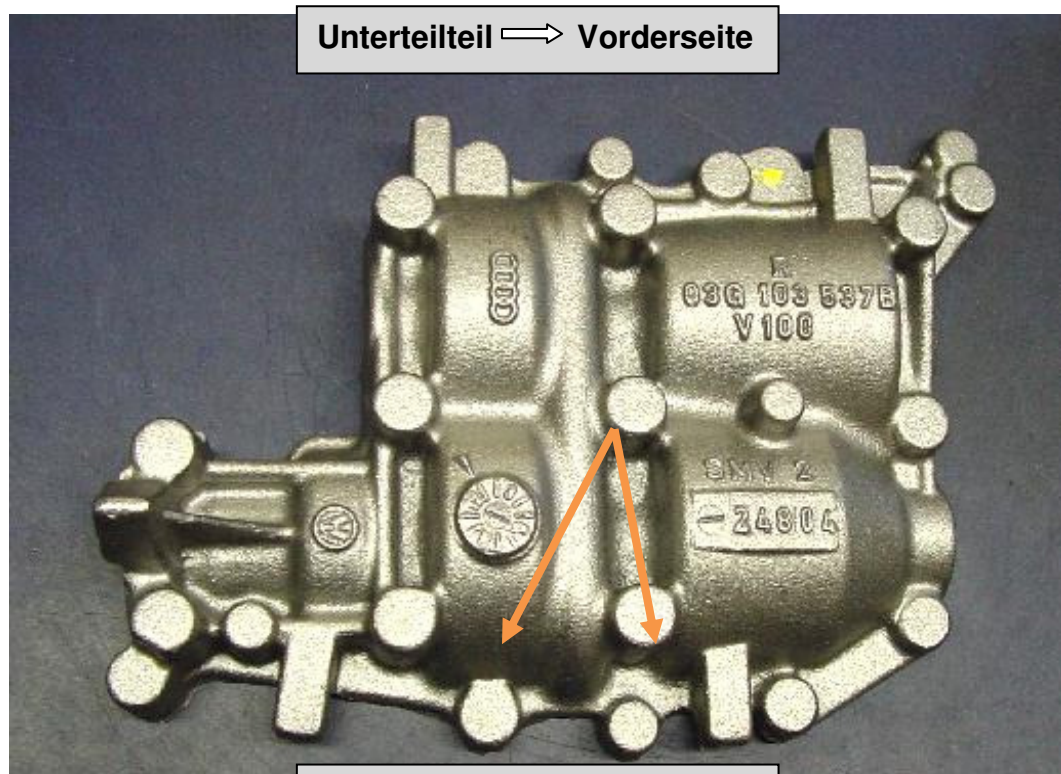
### Köbernig, Gunnar:

Vorlesungsmaterial – Schwerpunkt Logistik; Hochschule Mittweida

## **IX. Anlagenverzeichnis**

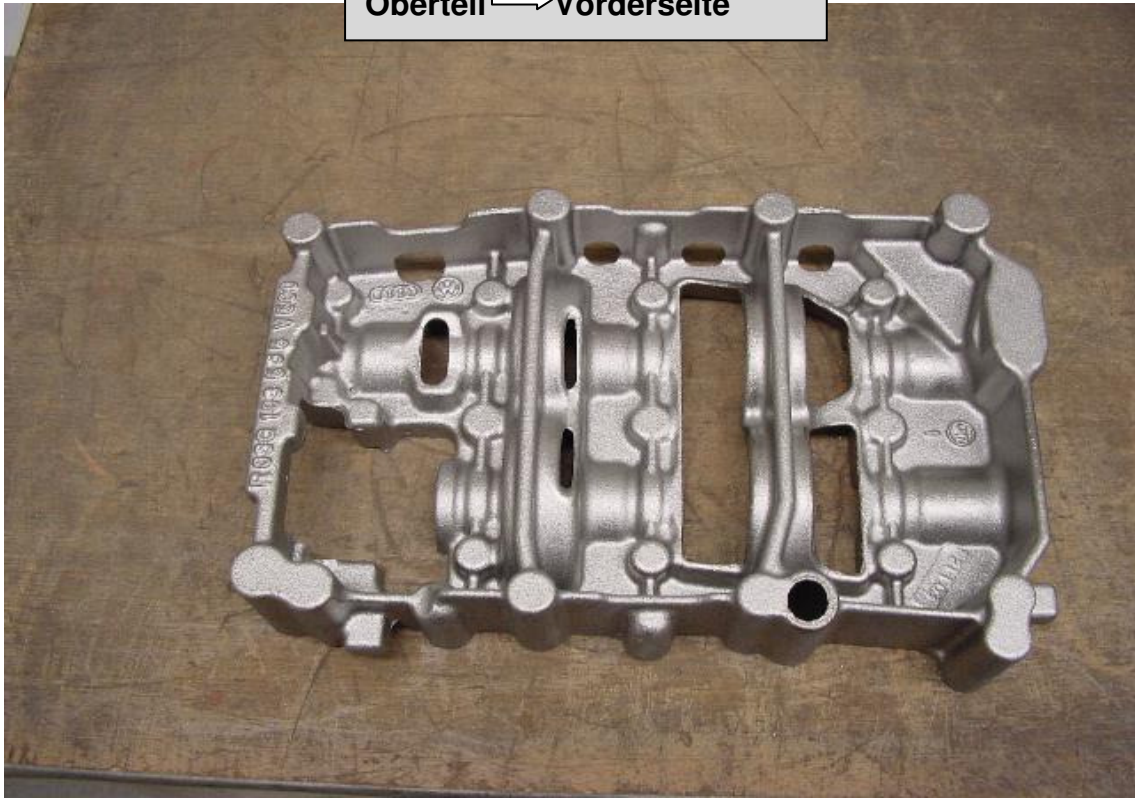
<i>Anlage 1: Ausgleichswellengehäuse Unterteile.....</i>	<i>XV</i>
<i>Anlage 2: Oberteile.....</i>	<i>XVI</i>
<i>Anlage 3: Stanze .....</i>	<i>XVII</i>
<i>Anlage 4: Strahlanlage .....</i>	<i>XVIII</i>
<i>Anlage 5: Putzerei.....</i>	<i>XIX</i>
<i>Anlage 6: Muldenbandanlage.....</i>	<i>XX</i>
<i>Anlage 7: Fluxen (Rissprüfung).....</i>	<i>XXI</i>



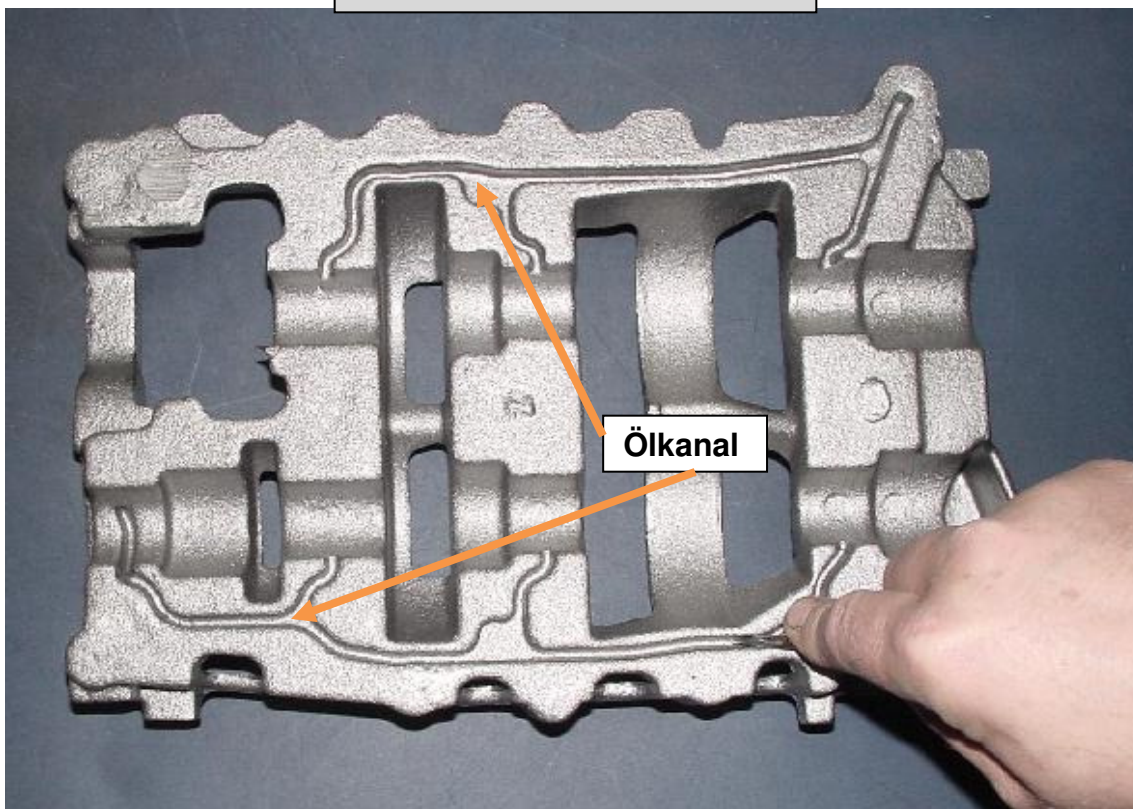
**Anlage 1: Ausgleichswellengehäuse Unterteile**

**Anlage 2: Oberteile**

Oberteil → Vorderseite



Oberteil → Rückseite

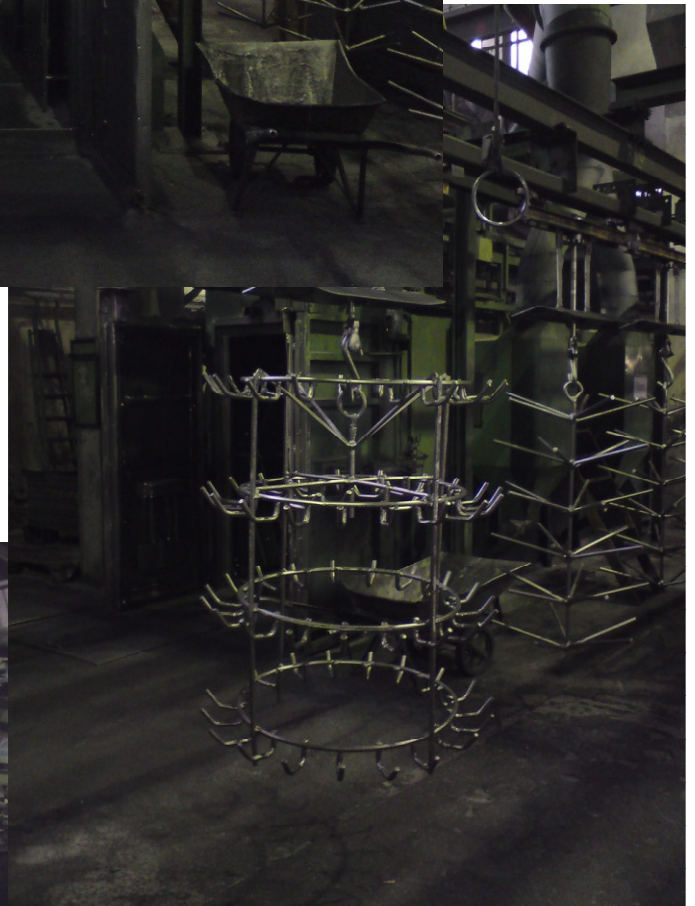




**Anlage 3: Stanze**



## Anlage 4: Strahlanlage



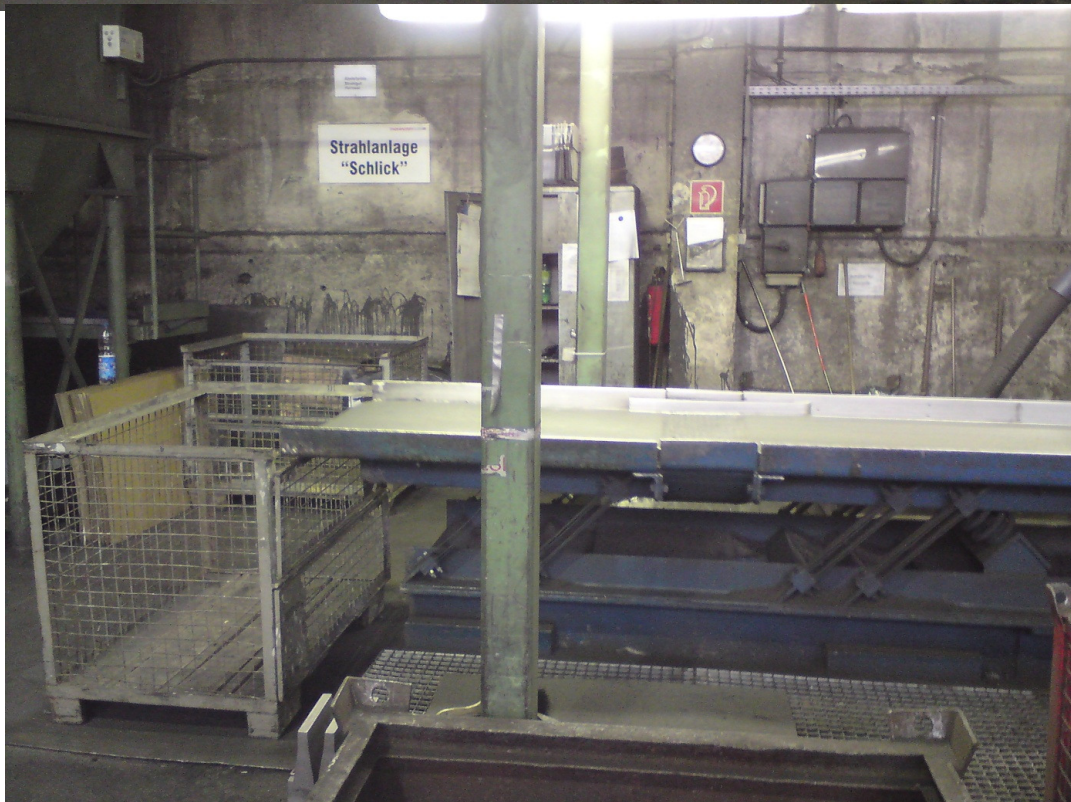


## Anlage 5: Putzerei





## Anlage 6: Muldenbandanlage





**Anlage 7: Fluxen (Rissprüfung)**

## **X. Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig, ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die in den beigefügten Verzeichnissen angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Mittweida, den 28.10.2009